



TESIS -TM 142501

**DESAIN DAN KARAKTERISTIK TRANSMISI HIBRID
ELEKTRO MEKANIK UNTUK KENDARAAN
BERTENAGA HIBRID PADA MODA ECVT DAN
MODA OPERASI LAINNYA**

MUCHAMMAD JAMIL

NRP 211 520 500 1

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D

PROGRAM MAGISTER

BIDANG KEAHLIAN DESAIN SISTEM MEKANIKAL

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Magister Teknik (MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Muchammad Jamil

NRP. 2115205001

Tanggal Ujian : 18 Juli 2017

Periode Wisuda : September 2017

Disetujui Oleh :

1. Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, Msc., Ph.D.

NIP. 1951-0605-1978-03-1002

(Pembimbing)

2. Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA

NIP. 1965-0810-1991-02-1001

(Penguji)

3. Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT

NIP. 1970-0412-1997-03-2003

(Penguji)

4. Dr. Unggal Wasiwito, ST, M.Eng.Sc.Eng.

NIP. 1978-0510-2001-12-1001

(Penguji)

Dekan Fakultas Teknologi Industri

Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T

NIP. 1969-0507-1995-12-1001

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



TESIS -TM 142501

**DESAIN DAN KARAKTERISTIK TRANSMISI HIBRID
ELEKTRO MEKANIK UNTUK KENDARAAN
BERTENAGA HIBRID PADA MODA ECVT DAN
MODA OPERASI LAINNYA**

MUCHAMMAD JAMIL

NRP 211 520 500 1

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D

PROGRAM MAGISTER

BIDANG KEAHLIAN DESAIN SISTEM MEKANIKAL

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



THESIS -TM 142501

**DESIGN AND CHARACTERISTIC HYBRID TRANSMISSION
ELECTRO MECHANICAL FOR HYBRID POWER VEHICLE
ON ECVT MODE OF OPERATION AND OTHER MODE OF
OPERATION**

MUCHAMMAD JAMIL

NRP 211 520 500 1

ADVISOR

Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D

MASTER PROGRAM

FIELD STUDY OF MECHANICAL SYSTEM DESIGN

DEPARTEMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY

SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

SURABAYA

2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**DESAIN DAN KARAKTERISTIK TRANSMISI HIBRID ELEKTRO
MEKANIK UNTUK KENDARAAN BERTENAGA HIBRID PADA MODA
ECVT DAN MODA OPERASI LAINNYA.**

Nama : Muchammad Jamil
NRP : 2115205001
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc, Ph.D.

ABSTRAK

Engine dan motor masing masing memiliki karakteristik kerja yang berbeda. Perbedaan tersebut dapat di amati dari kurva karakteristik kerjanya. oleh karna itu penelitian ini mengkaji cara menggabungkan kinerja dari *Engine* dan dua buah motor listrik kedalam satu transmisi hibrid yang sederhana. untuk menggabungkan kinerjanya maka dibutuhkan sebuah sistem yang dapat memfasilitasi kinerja *Engine* dan dua buah motor agar masing masing dapat bekerja pada kondisi optimalnya.

Untuk menggabungkan kinerja *Engine* dan dua buah motor, maka perlu dilakukan perpaduan atau sintesa terhadap konfigurasi *Power Splitting*. sintesa dalam penelitian ini adalah perpaduan untuk mendapatkan posisi yang memungkinkan untuk meletakkan *Engine*, *Motor1*, *Motor 2* serta kopling pada konfigurasi *Power Splitting* yang ada pada transmisi hibrid. *Power Splitting*(PS) adalah sistem pada tranmisi hibrid yang berfungsi untuk menggabungkan dua buah daya menjadi satu *Output* atau sebaliknya dari satu *Input* di pecah menjadi dua *Output*. *Power Splitting* yang akan dikaji disini adalah menggunakan *Planetary Gear Set (PGS)* satu tingkat.

Hasil perpaduan atau sintesa terhadap *Power Splitting* didapatkan konfigurasiyang terbaik yaitu pada hasil sintesa ke 8, dimana pada konfigurasi tersebut dapat menghasil moda operasi terbanyak yaitu 12 moda operasi. Hasil Konfigurasi *Power Splitting* tersebut selanjutnya diwujudkan dalam perwujudan desain yaitu gambar 3 Dimensi rancangan transmisi hibrid. Setiap Moda operasi

dianalisa dan divalidasi cara kerjanya menggunakan model *Planetary* yang sebenarnya. Kesimpulan dari penelitian ini adalah *Power Splitting* menggunakan PGS, dapat digunakan untuk memfasilitasi *Engine* dan kedua motor listrik agar keduanya dapat bekerja pada kondisi optimalnya dan juga dapat menghasilkan moda ECVT dan beberapa moda operasi lainnya.

Kata Kunci: *Transmisi Hibrid, Power Splitting, Planetary Gear Set, konfigurasi, Moda operasi, kopling, Kinerja, Engine, Motor listrik.*

**Design And Charactristic Hybrid Transmission Electro Mechanical for
Vehicle Hybrid Power on ECVT Operating Mode and Other Operating
Mode.**

Name : Muchammad Jamil
Registered : 2115205001
Advisor : Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc, Ph.D.

ABSTRACT

Engine and motor each have different working characteristics. The differences can be observed on the working characteristic curves. This research to identify how to combine performance between *Engine* and two electric motors into a simple hybrid transmission. to attain combination, need a system that can facilitate between the *Engine* and two motors so that its can working in optimum conditions.

To combine performance of Engine and two motors, need to take synthesis on *Power Splitting* configuration. Synthesis in this research is a way to get the position that allows to locate Engine, Motor 1, Motor 2 and clutch on *Power Splitting* configuration. *Power Splitting*(PS) is a system in hybrid transmission that use to combine two power sources into single Output power use, or otherwise from single Input power sources to split into two Outputs power use. *Power Splitting* to be reviewed here is using a single d.o.f Planetary Gear Set (PGS).

The result of synthesis method is 8th Configuration, that able to provide 12 modes of operation. The result of *Power Splitting* configuration subsequently enbodiment in 3Ddrawing design of hybrid transmission. Each mode of operation is analyzed and validated how it works using a real Planetary model. The conclusion of this research that *Power Splitting* using PGS can be used to facilitate both of two electrical motor and *Engine* so that can working in optimum

condition and also can produce ECVT mode of operation and other various modes of operation.

Key Words: *Hybrid Transmission, Power Splitting, Planetary Gear Set, Configuration, Operating Mode, Brake Clutch, Principal Working, Engine, Electrical Motor.*

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan	2
1.5. Manfaat	3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	5
2.1. Tinjauan Pustaka	5
2.2. Pengembangan Literatur	11
2.3. Kerangka Ilmiah	12
2.4. Kerangka Desain	13
2.5. Dasar Teori	14
2.5.1. Dasar Teori <i>Power Splitting Planetary Gear</i>	14
2.5.2. Motor Pembakaran Dalam	17
2.5.3. Motor Listrik	17
BAB 3 METODOLOGI	21
3.1. <i>Flowchart</i> Pengerjaan	21
3.2. Penjelasan <i>Flowchart</i>	22
3.2.1. Studi Literatur	22
3.2.2. Sintesa Konfigurasi	22
3.2.2.1. Sintesa <i>Input</i> dan <i>Output Power Splitting</i>	22

3.2.2.2.	Sintesa Penempatan Penggerak	23
3.2.3.	<i>Parameter</i> Keberhasilan desain	31
3.2.4.	Perwujudan Desain Gambar 3D	31
3.2.5.	<i>Detail Engineering Drawing</i>	33
3.2.6.	Hasil dan Keluaran	33
BAB 4 ANALISA DAN HASIL		36
4.1.	Spesifikasi	36
4.1.1.	Data Kendaraan	36
4.1.2.	Data <i>Engine</i>	37
4.1.3.	Data Motor Listrik.....	37
4.2.	Desain <i>Planetary Gear</i>	38
4.2.1.	<i>Parameter</i> konstrain untuk mendesain <i>Planetary</i>	38
4.2.2.	Langkah langkah Merancang <i>Planetary Gear</i>	38
4.3.	Analisa Moda Operasi	40
4.3.1.	Analisa Moda Operasi <i>StartingEngine</i>	41
4.3.1.a.	<i>Parameter</i> kontrol moda <i>StartingEngine</i>	42
4.3.2.	Analisa Moda <i>Charging While Stand Still</i>	42
4.3.2.a.	<i>Parameter</i> kontrol moda <i>Charging While Stand Still</i>	43
4.3.3.	Analisa Moda Motor-1	43
4.3.3.a.	<i>Parameter</i> kontrol moda Motor-1	45
4.3.4.	Analisa Moda Motor-2	45
4.3.4.a.	<i>Parameter</i> kontrol moda Motor-2	46
4.3.5.	Analisa Moda Kombinasi Motor-1 dan Motor-2	46
4.3.5.a.	<i>Parameter</i> kontrol moda kombinasi Motor-1 dan Motor-2	48
4.3.6.	Analisa Moda <i>Engine</i>	48

4.3.6.a. <i>Parameter</i> kontrol moda <i>Engine</i>	49
4.3.7. Analisa Moda ECVT	50
4.3.7.1. Moda ECVT-1	51
4.3.7.1.a. <i>Parameter</i> kontrol moda ECVT-1	53
4.3.7.2. Moda ECVT-2	54
4.3.7.2.a. <i>Parameter</i> kontrol moda ECVT-2	55
4.3.7.3. Moda ECVT-3	56
4.3.7.3.a. <i>Parameter</i> kontrol moda ECVT-3	58
4.3.8. Analisa Moda <i>Parallel</i>	58
4.3.8.a. <i>Parameter</i> kontrol moda <i>Parallel</i>	59
4.3.9. Analisa Moda <i>Seri-Parallel</i>	60
4.9.a. <i>Parameter</i> kontrol moda <i>Seri-Parallel</i>	62
4.3.10. Analisa Moda Regeneratif <i>Braking</i>	62
4.3.10.a. <i>Parameter</i> kondisi kerja moda <i>Regenerative Braking</i>	63
4.3.11. Analisa Moda <i>Regenerative Braking</i> gabungan.	63
4.3.11.a. <i>Parameter</i> kondisi kerja moda <i>Regenerative Braking</i> Gabungan.	64
4.3.12. Analisa Moda <i>Reversing Drive</i>	64
4.3.12.a. <i>Parameter</i> kontrol moda <i>Reversing Drive</i>	65
4.4. Analisa Gabungan Moda Operasi Traksi.	66
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	67
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN	70
BIOGRAFI PENULIS	71

(Halaman ini sengaja di kosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Diagram konfigurasi Parallel yang dikembangkan oleh (a) Tsai, (b) esmail, (c) zhu, and (d) chachra(4) [4]......	5
Gambar 2.	Konfigurasi Parallel <i>Power Splitting</i> dengan Dua Tingkat PGS, Satu M/G, satu <i>Engine</i> dilengkapi Kopling Rem [4]......	6
Gambar 3.	Moda Operasi Yang tersedia Pada konfigurasi <i>Power Splitting</i> dengan dua tingkat PGS, Dua M/G, Satu Engine dan kopling rem [10].	8
Gambar 4.	Contoh berbagai topologi konfigurasi untuk moda yang sama [8]......	9
Gambar 5.	kemungkinan moda operasi yang tersedia dari konfigurasi <i>Output splitt</i> [8]......	9
Gambar 6.	Konfigurasi <i>Power Splitting</i> dengan Satu Tingkat PGS, Satu M/G, Kopling Rem, Ditambah Dengan <i>GearBox</i> rasio tetap [2].	9
Gambar 7.	Konfigurasi <i>Power Splitting</i> dengan Satu Tingkat PGS, Dua M/G, dan Kopling Rem [7]......	10
Gambar 8.	Perkembangan Penelitian Transmisi Hibrid.	12
Gambar 9.	Morfologi sistem yang ada pada desain transmisi.	13
Gambar 10.	Cara kerja <i>Planetary Gear Set</i> (PGS) tipe Variabel Rasio.	14
Gambar 11.	Cara kerja <i>Planetary gear</i> tipe Rasio dengan <i>Input</i> pada <i>Sun</i> , <i>Output</i> pada <i>Carrier</i> , pada Ring.	15
Gambar 12.	Cara kerja <i>Planetary gear</i> tipe Rasio dengan <i>Input</i> pada Ring, <i>Output</i> pada <i>Carrier</i> , pada Sun.....	15
Gambar 13.	Cara kerja <i>Planetary gear</i> tipe Rasio dengan <i>Input</i> pada <i>Sun</i> , <i>Output</i> pada <i>Carrier</i> , pada Ring.	16
Gambar 14.	Karakteristik Daya <i>Engine</i> terhadap variasi putaran [12]......	18

Gambar 15.	Karakteristik Motor terhadap variasi perubahan kecepatan putaran [12].	18
Gambar 16.	Prinsip kerja komutasi Motor BLDC [13].	19
Gambar 17.	FlowChart Penelitian.....	21
Gambar 18.	Sintesa-1, Konfigurasi <i>Power Splitt</i> dengan <i>Output</i> pada bagian <i>RingGear</i>	22
Gambar 19.	Sintesa-2, Konfigurasi <i>Power Splitt</i> dengan <i>Output</i> pada bagian <i>SunGear</i>	23
Gambar 20.	Sintesa-3, Konfigurasi <i>Power Splitt</i> dengan <i>Output</i> pada bagian <i>carrier</i>	23
Gambar 21.	Sintesa-4, Konfigurasi Penggerak dimana: ICE pada <i>Ring</i> , MG1 pada <i>Carrier</i> , MG2 pada <i>Sun</i>	24
Gambar 22.	Sintesa-5, Konfigurasi Penggerak dimana: ICE pada <i>Ring</i> , MG1 pada <i>Sun</i> , MG2 pada <i>Carrier</i>	25
Gambar 23.	Sintesa-6, Konfigurasi Penggerak dimana: ICE pada <i>Carrier</i> , MG1 pada <i>Ring</i> , MG2 pada <i>Sun</i>	26
Gambar 24.	Sintesa-7, Konfigurasi Penggerak dimana: ICE pada <i>Sun</i> , MG1 pada <i>Carrier</i> , MG2 pada <i>Ring</i>	28
Gambar 25.	Sintesa-8, Konfigurasi Penggerak dimana: ICE pada <i>Sun</i> , MG1 pada <i>Ring</i> , MG2 pada <i>Carrier</i>	30
Gambar 26.	Konfigurasi Kompak yang Menggabungkan dua M/G ke dalam satu sistem transmisi.	32
Gambar 27.	Perwujudan Desain dari konfigurasi terpilih.....	32
Gambar 28.	Komponen BLDC yang sudah berhasil dibuat, yaitu Rotor dengan Magnetnya dan Stator dengan kumparan kawat tembaganya.	33
Gambar 29.	Target Luaran Transmisi Hibrid	34

Gambar 30.	Kendaraan jenis sedan yang akan menggunakan transmisi pada penelitian ini.	36
Gambar 31.	Spesifikasi <i>Engine</i>	37
Gambar 32.	Spesifikasi Motor Listrik.	37
Gambar 33.	Diagram aliran daya Moda <i>Starting Engine</i> menggunakan Motor -1.	42
Gambar 34.	Diagram aliran daya Moda <i>Charging while Stand Still</i>	43
Gambar 35.	Diagram aliran daya Moda Motor-1	44
Gambar 36.	Grafik Karakteristik Traksi Moda Motor-1	44
Gambar 37.	Diagram aliran daya Moda Motor-2.	45
Gambar 38.	Grafik Karakteristik Traksi Moda Motor-2	46
Gambar 39.	Diagram Aliran Daya Moda Kombinasi Motor-1 dan Motor-2. .	47
Gambar 40.	Grafik Karakteristik Traksi Moda Kombinasi Motor-1 dan motor-2.	47
Gambar 41.	Diagram aliran daya Moda <i>Engine</i>	49
Gambar 42.	Grafik Karakteristik Traksi Moda <i>Engine</i>	49
Gambar 43.	Diagram aliran daya Moda ECVT.	50
Gambar 44.	Grafik Kondisi kerja <i>Engine</i> dan Motor-1 pada Moda ECVT-1.	52
Gambar 45.	Grafik karakteristik traksi Moda ECVT-1	53
Gambar 46.	Grafik kondisi kerja <i>Engine</i> dan Motor-1 Pada Moda ECVT-2.	54
Gambar 47.	Grafik karakteristik traksi Moda ECVT-2.	55
Gambar 48.	Grafik kondisi kerja <i>Engine</i> dan Motor-1 Pada Moda ECVT-3.	56
Gambar 49.	Grafik karakteristik traksi Moda ECVT-3	57
Gambar 50.	Diagram aliran daya Moda <i>parallel</i>	58
Gambar 51.	Grafik Karakteristik Traksi Moda <i>Parallel</i>	59
Gambar 52.	Diagram aliran daya Moda <i>Seri-Parallel</i>	61

Gambar 53.	Grafik karakteristik Traksi Moda <i>Seri-Parallel</i>	61
Gambar 54.	Diagram aliran daya Moda <i>regenerative Braking</i> dengan Motor 1 sebagai <i>generator</i>	63
Gambar 55.	Diagram aliran daya Moda <i>regenerative brake</i> gabungan.	64
Gambar 56.	Diagram aliran daya Moda <i>Reversing Drive</i> dengan penggerak Motor-2.	65
Gambar 57.	Grafik Traksi gabungan dari semua Moda operasi.	66

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Karakteristik <i>Power Splitting</i> PGS	17
Tabel 2.	Daftar Moda yang tersedia pada Konfigurasi Sintesa 4	24
Tabel 3.	Daftar Moda yang tersedia pada Konfigurasi Sintesa 5.	25
Tabel 4.	Daftar Moda yang tersedia pada Konfigurasi Sintesa 6.	26
Tabel 5.	Daftar Moda yang tersedia pada Konfigurasi Sintesa 7.	28
Tabel 6.	Daftar Moda yang tersedia pada Konfigurasi Sintesa 8.	30
Tabel 7.	Data Kendaraan.	36
Tabel 8.	Data Motor listrik	38
Tabel 9.	Data kendaraan untuk analisa traksi.	41
Tabel 10.	Sudut Tanjakan untuk analisa traksi.	41
Tabel 11.	<i>Parameter</i> kontrol Moda <i>StartingEngine</i>	42
Tabel 12.	<i>Parameter</i> kontrol Moda <i>StartingEngine</i>	43
Tabel 13.	<i>Parameter</i> kontrol Moda Motor-1	45
Tabel 14.	<i>Parameter</i> kontrol Moda Motor-2	46
Tabel 15.	<i>Parameter</i> kontrol Moda Kombinasi Motor-1 dan Motor-2	48
Tabel 16.	<i>Parameter</i> kontrol Moda <i>Engine</i>	49
Tabel 17.	Rasio ECVT-1	52
Tabel 18.	<i>Parameter</i> kontrol Moda ECVT-1	53
Tabel 19.	Rasio ECVT-2	54
Tabel 20.	<i>Parameter</i> kontrol Moda ECVT-2	56
Tabel 21.	Rasio ECVT-3	57
Tabel 22.	<i>Parameter</i> kontrol Moda ECVT-3	58
Tabel 23.	<i>Parameter</i> kontrol Moda <i>Parallel</i>	59

Tabel 24.	<i>Parameter kontrol Moda Seri-Parallel.</i>	62
Table 25.	<i>Parameter kontrol Moda Reversing Drive.</i>	65

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Permintaan yang terus meningkat terhadap kendaraan yang memiliki kemampuan tinggi, sehingga memacu para peneliti untuk terus berusaha untuk memperbaiki kinerja kendaraan. Perbaikan ini salah satunya adalah pada sistem transmisi, oleh karena itu pada penelitian ini mengkaji sebuah transmisi hibrid/transmisi gabungan dengan konfigurasi mekanik yang terdiri dari *Planetary Gear Set (PGS)* sebagai *Power Splitting* dan dipadukan dengan kopling untuk memberikan tambahan moda operasi, [1]. Tambahan moda operasi ini dapat memberikan peningkatan kinerja transmisi hibrid, [1][2][3]. Untuk mendapatkan tambahan moda operasi perlu dilakukan sintesa terhadap konfigurasi dari *Power Splitting*, [4]. Kemampuan *Power Splitting* menggunakan *Planetary Gear Set (PGS)* dapat diterapkan pada transmisi hibrid dalam rangka untuk mendapatkan tambahan moda operasi, selain moda *series* dan *Parallel*. [5]. Konfigurasi *Power Splitting* yang diusulkan pada penelitian ini adalah menggunakan PGS satu tingkat. Dengan melakukan penyelidikan secara mendalam terhadap karakteristik mekanis dari PGS, maka penyelidikan tersebut dapat digunakan untuk mengidentifikasi dimanakah letak posisi yang memungkinkan untuk meletakkan *Engine*, *MG-1*, *MG-2*, kopling putar dan kopling rem, [1]. Dengan menganalisa perilaku dan prinsip kerja dari Kopling putar dan kopling rem, maka selanjutnya dapat digunakan untuk mengembangkan strategi mengontrol kopling putar dan kopling rem untuk penelitian selanjutnya, [6][7][8][9]. Penelitian ini menitik beratkan pada penyusunan mekanisme yang dapat memadukan kinerja terbaik dari PGS, *Engin*, *MG1*, *MG2*, kopling putar dan kopling rem agar dapat memberikan moda operasi tambahan selain *series* dan *Parallel*. [10]. Penelitian ini, bertujuan untuk meyakinkan bahwa, konfigurasi *Power Splitting* menggunakan PGS satu tingkat dapat memberikan kemampuan yang memadai dibanding PGS multi tingkat, jika didukung dengan sistem kontrol, Sintesa Penempatan Penggerak (*Prime Mover*), penempatan kopling putar dan kopling rem secara tepat.

1.2. Perumusan Masalah

Adapun permasalahan yang akan diselesaikan pada penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana menggabungkan daya *Engine* dan dua motor.
2. Bagaimana membuat konfigurasi *Power Splitting* yang dapat menghasilkan moda ECVT dan berbagai moda operasi lainnya.
3. Bagaimana membuat rancangan dasar (*basic desain*) dari sistem transmisi hibrid yang dapat memberikan fungsi berbagai moda operasi.
4. Bagaimana menganalisa kinerja karakteristik traksi pada berbagai moda operasi

1.3. Batasan Masalah

Untuk memperjelas ruang lingkup penelitian ini maka diberikan beberapa batasan masalah antara lain:

1. Analisa hanya dilakukan pada moda operasi yang menghasilkan traksi saja.
2. Untuk moda *regenerative braking* belum dibahas pada penelitian ini.
3. Sintesa konfigurasi *Power Splitting* hanya menggunakan satu set PGS (1 dof PGS)
4. Strategi kontrol tidak dibahas pada penelitian ini.
5. Majemen energi tidak dibahas pada penelitian ini.
6. Analisa kekuatan material tidak dibahas pada penelitian ini.
7. Mekanika getaran tidak dibahas pada penelitian ini.
8. Analisa pelumasan tidak dibahas pada penelitian ini.

1.4. Tujuan

Penerapan Metode sintesa dilakukan dan diarahkan sedemikian rupa yang bertujuan untuk mendapatkan beberapa target capaian antara lain:

1. Menghasilkan konfigurasi *Power Spliting* yang dapat memadukan performa terbaik *Engine* dan dua motor.
2. Menghasilkan moda ECVT dan berbagai moda operasi lainnya dengan cara memfasilitasi *Engine* dan motor dengan menggunakan *Planetary gear*.
3. Menghasilkan rancangan dasar (*basic Design*) sistem transmisi hibrid yang dapat berfungsi sebagai *ECVT* dan berbagai moda operasi
4. Menghasilkan grafik analisa karakteristik traksi pada moda *ECVT* dan karakteristik traksi pada berbagai moda operasi.

1.5. Manfaat

Manfaat dapat diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Menyediakan referensi *Basic Desain* Rancangan Transmisi Hibrid Memadukan dua *M/G*, satu *Engine*.
2. Menyediakan referensi untuk mendesain transmisi Hibrid generasi berikutnya meliputi penyederhanaan penempatan dua *MG* serta penempatan kopling kedalam satu sistem transmisi yang kompak.
3. Memberikan referensi perhitungan traksi menggunakan *PGS*.
4. Memberikan referensi cara menggunakan formula *PGS* pada setiap moda operasi.

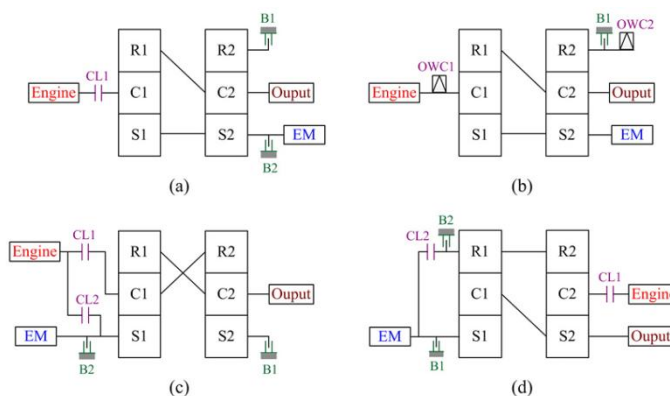
(Halaman ini sengaja di kosongkan)

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

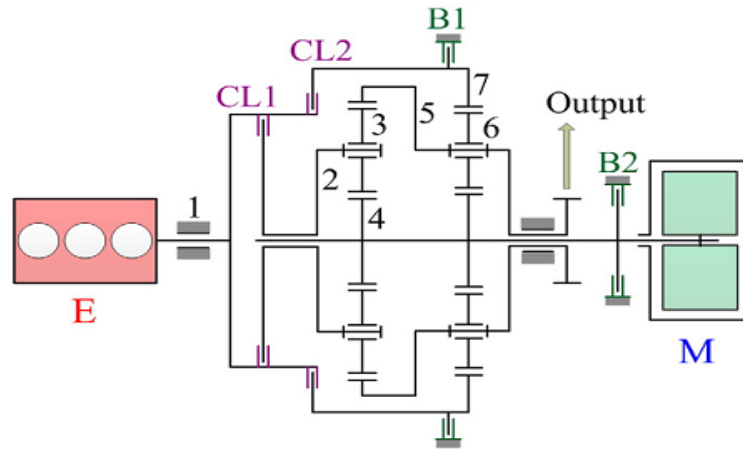
2.1. Tinjauan Pustaka

Power Splitting adalah salah satu sistem paling penting dalam transmisi hybrid, dimana terdapat dua model fungsi dari *Power Splitting* yaitu: *InputSplitting* dan *OutputSplitting*. Pada *InputSplitting* digunakan untuk menggabungkan dua atau lebih penggerak (*Prime mover*), Sedangkan *OutputSplitting* digunakan untuk memisahkan/ Cerat dengan dua atau lebih keluaran. ada beberapa tipe *Power Splitting* antara lain : 1. *Power Splitting* menggunakan gear, 2. *Power Splitting* menggunakan *Clutch*, 3. *Power Splitting* menggunakan *Planetary Gear Set* (PGS), 4. *Power Splitting* menggunakan *toroidal*. dalam penelitian ini akan dikaji lebih lanjut terhadap *Power Splitting* yang menggunakan *Planetary Gear Set* (PGS) dimana kepopuleran dari *Power Splitting* menggunakan PGS telah terbukti dapat diaplikasikan pada sistem transmisi *hybrid* dalam rangka untuk mendapatkan manfaat baik moda *series* dan *Parallel*, [5]. Dengan melakukan sintesa terhadap konfigurasi *Power Splitting* menggunakan PGS dilengkapi dengan kopling putar dan kopling rem akan dapat menyediakan tambahan moda operasi, [4]. adapun hasil sintesa konfigurasi *Power Splitting* pada literatur ke-4 adalah konfigurasi PGS dua tingkat yang ditunjukkan pada gambar 1 dan gambar 2.



Gambar 1.Diagram konfigurasi Parallel yang dikembangkan oleh (a) Tsai, (b) esmail, (c) zhu, and (d) chachra(4) [4].

Hasil akhir dari sintesa pada literatur ini adalah konfigurasi *ParallelPower Splitting* dengan satu *motor* dan satu *Engine* dilengkapi dengan kopling rem.



Gambar 2.Konfigurasi *ParallelPower Splitting* dengan Dua Tingkat PGS, Satu M/G, satu *Engine* dilengkapi Kopling Rem[4].

Adapun moda operasi yang dimiliki konfigurasi *Parallel* pada gambar 2 adalah sebagai berikut:

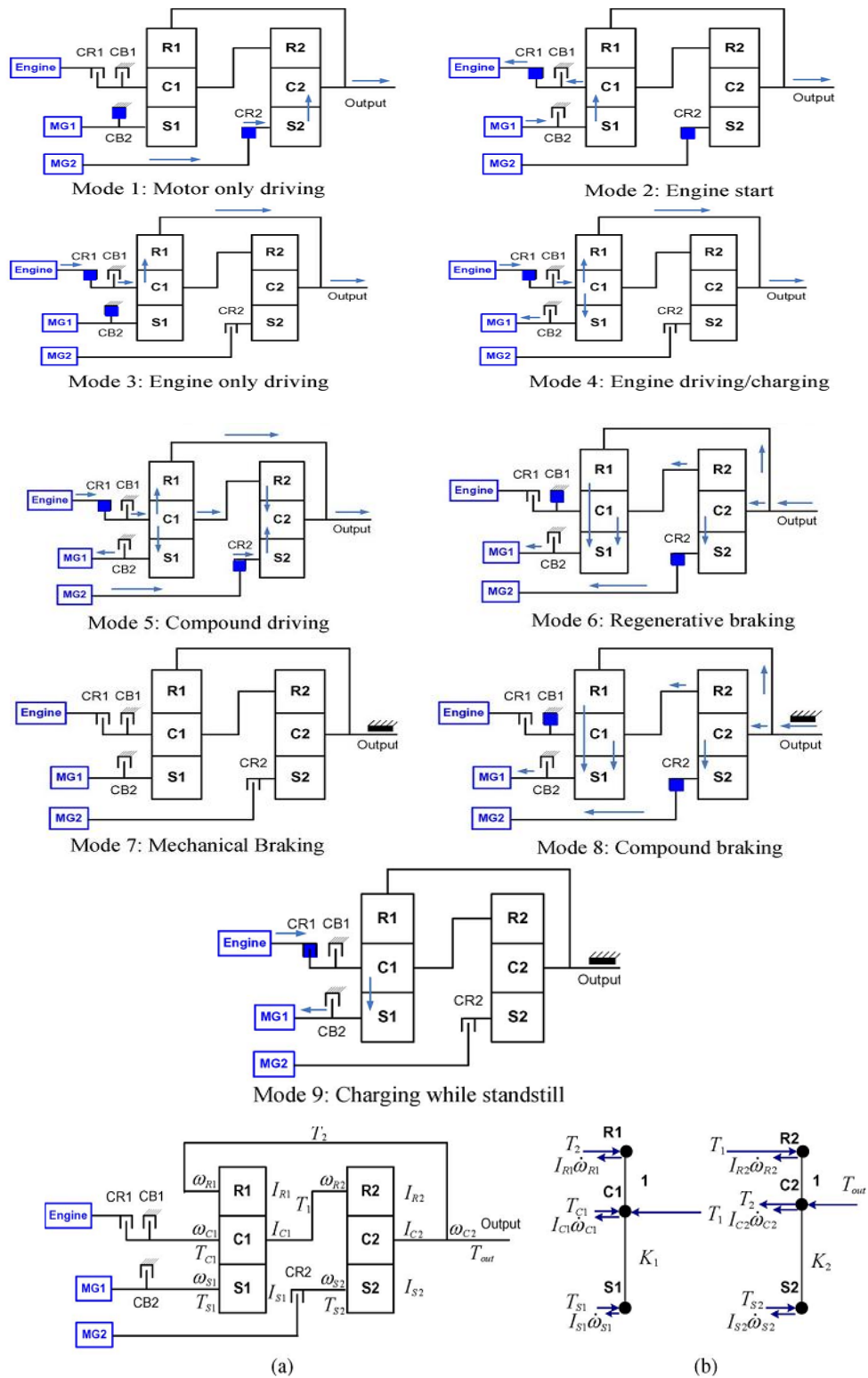
1. **ModaMotor:** ketika kendaraan membutuhkan daya yang rendah, pada saat *starting* atau bergerak dengan kecepatan rendah dimana kendaraan hanya bergerak maju dan mundur maka penggerakanya hanya menggunakan *motor* saja dengan daya yang tersedia pada *batrey*.
2. **Moda kombinasi:** ketika kendaraan membutuhkan tenaga yang besar untuk *akselerasi* maka *engin* dinyalakan untuk memberikan tambahan daya dimana daya *engin* digabung dengan daya dari *motor* untuk bersama sama menggerakkan kendaraan.
3. **ModaEngine:** Ketika kebutuhan daya tidak terlalu tinggi namun masih lebih tinggi dari daya *motor* maka *Engine* yang digunakan sebagai penggerak sedangkan *motor* hanya *spinning* atau dimatikan. Moda ini normalnya digunakan untuk *cruising* di jalan raya.
4. **ModaPower Splitting:** Ketika kendaraan hanya membutuhkan daya yang rendah namun *Engine* masih beroperasi maka *torsi* dari *Engine* akan di

splitt sebagian untuk dikonversi menjadi listrik melalui MG dan disimpan pada *batrey*.

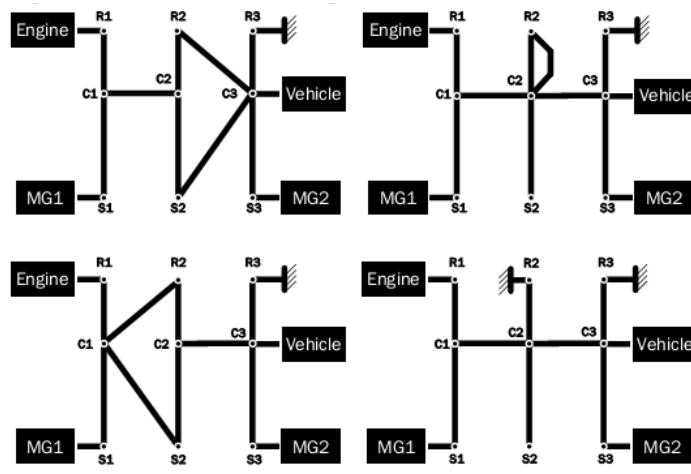
5. **Regenerativebrakingmoda:** pada saat mengerem *Motor* berputar dan berfungsi sebagai *generator* untuk menyerap energi kinetik dari kendaraan serta mengubahnya menjadi listrik lalu disimpan pada *batrey*.
6. **Moda Stationary charging:** Bilamana daya pada *batrey* telah lemah, *Motor* difungsikan menjadi *generator* yang digerakkan oleh *Engine* untuk mengisi *batrey* pada saat *Engine* melakukan pemanasan dimana kendaraan belum bergerak.

Disamping konfigurasi *Power Spliting* menggunakan PGS satu tingkat, ada pula konfigurasi *Power Spliting* menggunakan PGS dua tingkat. dimana pada konfigurasi PGS dua tingkat yang dilengkapi dengan kopling putar dan kopling rem akan dapat memberikan tambahan moda operasi, [10]. adapun konfigurasi dari hasil penelitian pada literatur ke-10 akan ditunjukkan pada gambar 3 dan 4. Terdapat hal yang sangat penting dalam hal perubahan moda operasi yaitu Perubahan konfigurasi secara cepat adalah sangat penting untuk menjamin moda operasi dapat bekerja dengan baik, [8]. Diagram konfigrasi dibutuhkan untuk meng-ilustrasikan prinsip kerja dan peletakan komponen transmisi. Diagram konfigurasi tersebut ditunjukkan pada gambar 5 dan 6.

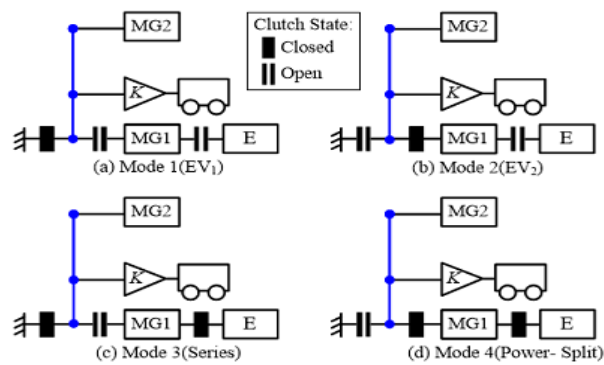
Dengan memberikan sistem kontrol yang sesuai, maka semua moda operasi yang dirancang dapat bekerja dengan baik dan memadai meskipun hanya menggunakan *Power Spliting* dengan PGS satu tingkat. Dengan menggunakan metode zero steady state yaitu metode kontrol konsumsi energi pada kopling didalam tranmisi Hibrid dengan *PGS*, maka konfigurasi *Power Spliting* dengan PGS satu tingkat pun dapat memiliki kemampuan yang memadai dibanding konfigurasi *Power Spliting* dengan PGS multi tingkat, [2]. metode kontrol tersebut meliputi kontrol kopling dan komponen lainnya yang mendukung kemampuan *startingEngine* dan pergantian *gear*. Traget utama dari metode kontrol ini adalah untuk mendapatkan perfoma dinamis yang baik, dengan konsumsi energi kontrol kopling yang rendah. gambar konfigurasi dari literatur ke-2 ini ditunjukkan pada gambar 7.



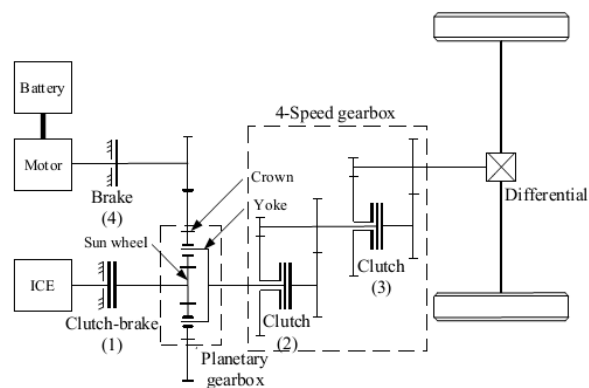
Gambar 3. Moda Operasi Yang tersedia Pada konfigurasi *Power Splitting* dengan dua tingkat PGS, Dua M/G, Satu Engine dan kopling rem [10].



Gambar 4.Contoh berbagai topologi konfigurasi untuk moda yang sama [8].



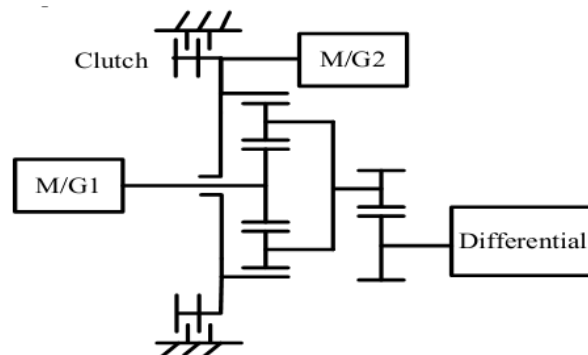
Gambar 5.kemungkinan moda operasi yang tersedia dari konfigurasi *Output splitt*[8].



Gambar 6.Konfigurasi *Power Splitting* dengan Satu Tingkat PGS, Satu M/G, Kopling Rem, Ditambah Dengan *GearBox* rasio tetap [2].

Penambahan Gear box rasio tetap pada konfigurasi di literatur 2 memiliki kemudahan dibandingkan dengan menggunakan transmisi manual, selain itu Gear box rasio tetap juga memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibanding transmisi manual [2]. ini Adapun moda operasi yang dapat diidentifikasi dari konfigurasi pada literatur 2 antara lain adalah :

1. *ModaStartingEngine Menggunakan Motor-1*
2. *Moda Regenerativ Menggunakan Motor-2*
3. *ModaECVT*
4. *ModaMengisi batrey saat memanasiEngine.*



Gambar 7.Konfigurasi *Power Spliting* dengan Satu Tingkat PGS, Dua M/G, dan Kopling Rem[7].

Penerapan *Power Spliting* dengan PGS satu tingkat juga dapat digunakan pada kendaraan listrik misalnya diaplikasi pada Bus listrik yang dapat dijadikan standar kendaraan perkotaan [7]. Adapun moda operasi yang dapat diidentifikasi dari konfigurasi pada literatur 7 antara lain adalah :

1. *Moda Motor-1*
2. *Moda Motor-2*
3. *ModaECVT*
4. *Moda Regenerativ Generator-1*
5. *Moda Regenerativ Generator-2*

2.2. Pengembangan Literatur

Adapun kemampuan moda operasi dari literatur yang akan dikembangkan dalam penelitian ini adalah:

- ❖ Literatur ke 2: Adapun Peluang perbaikan moda operasi yang dapat dikembangkan pada literatur 2 antara lain:

1. *ModaParallel.*
2. *ModaParallel ECVT*
3. *Seri- Parallel*
4. *Moda ReversingDrive*
5. *RegenerativeBraking*
6. *RegenerativeBraking Gabungan dari Generator 1dan 2*
7. *Moda Motor 2*

Gambar konfigurasi literatur 2 ditunjukkan pada gambar 6. Dari literatur 2 akan dikembangkan dengan cara menjadikan satu bagian antara motor listrik dengan PGS kedalam satu sistem transmisi yang kompak.

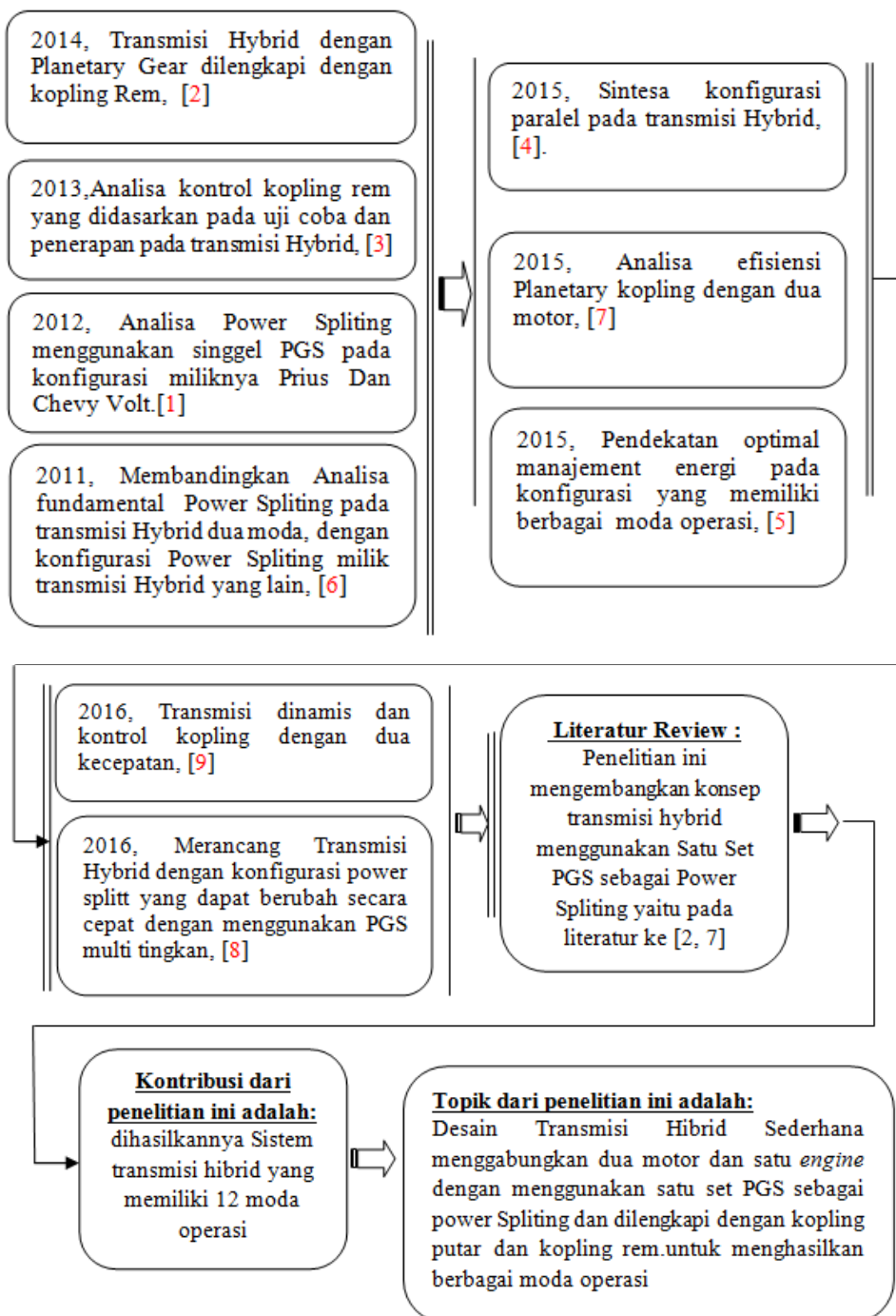
- ❖ Literatur ke 7: Adapun peluang perbaikan moda operasi yang akan dikembangkanpada literatur 7 antara lain:

1. *Moda Engine*
2. *ModaParallel.*
3. *ModaParallel ECVT*
4. *Charging and Drive*
5. *Charging while stand still*
6. *Seri Parallel*
7. *Regenerative Braking*
8. *Regenerative Braking gabungan dari Generator 1dan 2*

Gambar konfigurasi literatur 7 ditunjukkan pada gambar 7. Dari literatur 7 akan dikembangkan dengan cara menjadikan satu antara motor listrik dengan PGS kedalam satu sistem transmisi yang kompak.

2.3. Kerangka Ilmiah

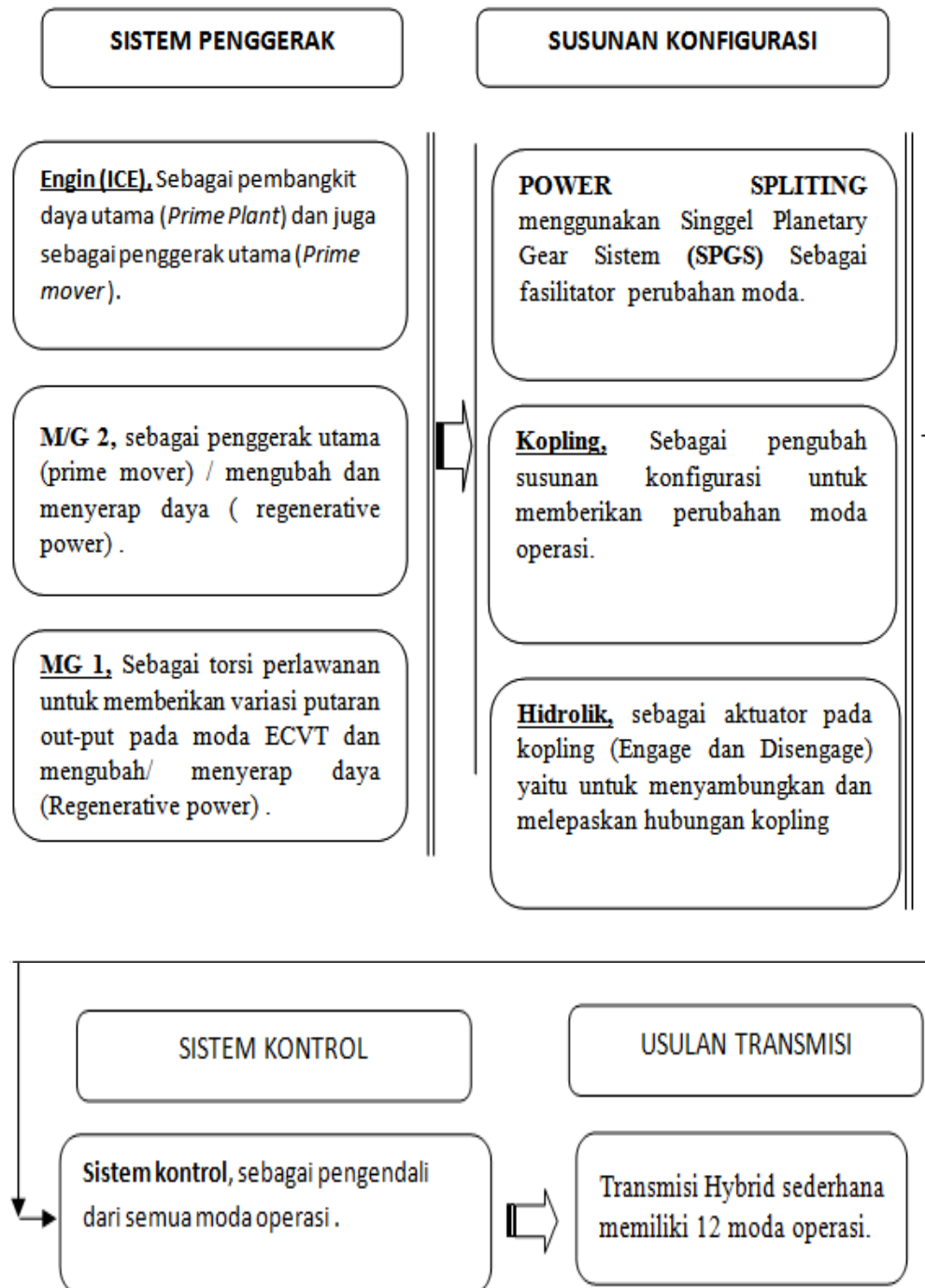
Pada kerangka ilmiah ini berisi tentang perkembangan penelitian terdahulu yang dijadikan landasan ide untuk mengembangkan kerangka pemikiran baru yang akan dikaji pada penelitian ini.



Gambar 8.Perkembangan Penelitian Transmisi Hibrid.

2.4. Kerangka Desain

Beberapa sistem yang akan dipadukan kedalam sistem transmisi *Hybrid* yang akan diusulkan antara lain.



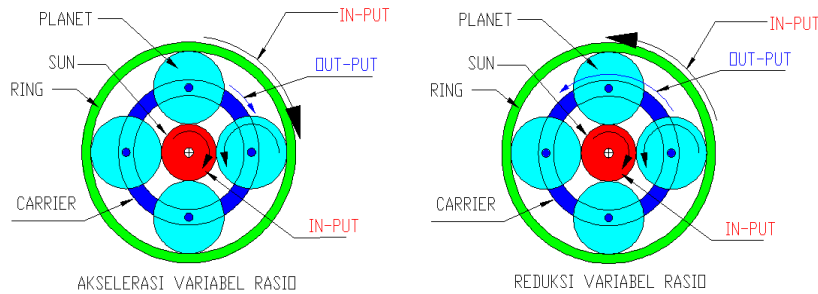
Gambar 9. Morfologi sistem yang ada pada desain transmisi.

2.5. Dasar Teori

2.5.1. Dasar Teori *Power Splitting Planetary Gear*

Kemampuan *Power Splitting* menggunakan *Planetary Gear Set* (PGS) dapat di terapkan pada transmisi hibrid guna untuk mendapatkan manfaat dari modaseries, *Parallel* dan berbagai moda lainnya [13]. apabila kemampuan PGS dipadukan dengan Kopling maka dapat memberikan kemampuan *moda* tambahan selain modaseries dan *Parallel*.

❖ *Planetary gear* tipe variabel rasio.



Gambar 10. Cara kerja *Planetary Gear Set* (PGS) tipe Variabel Rasio.

Rasio atas dasar jumlah *roda gigi*.

$$\omega_C (N_S + N_R) = (N_S * \omega_S) + (N_R * \omega_R) \quad (1)$$

$$\omega_C = \frac{N_S}{N_S + N_R} * \omega_S + \frac{N_R}{N_S + N_R} * \omega_R \quad (2)$$

Keterangan rumus

ω_C = Putaran bodi *Carrier*

ω_S = Putaran bodi *Sun Gear*.

ω_R = Putaran bodi *Ring Gear*.

N_S = Jumlah gigi *Sun Gear*.

N_R = Jumlah gigi *Ring Gear*.

N_P = Jumlah gigi *Ring Gear*.

Torsi atas dasar jumlah *roda gigi*.

$$T_C = \frac{N_S + N_R}{N_S} * T_S + \frac{N_S + N_R}{N_R} * T_R \quad (3)$$

$$T_C = i_{S \rightarrow C} * T_S + i_{R \rightarrow C} * T_R \quad (4)$$

Keterangan rumus

T_C = Putaran bodi *Carrier*

T_S = Torsi bodi *Sun Gear*.

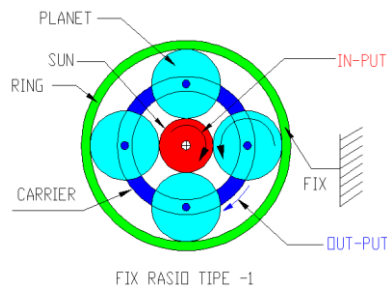
T_R = Torsi yang masuk ke *RingGear*.

$it_{S \rightarrow C}$ = Rasio transmisi reduksi, *Input* dari *Sun gear* keluar melalui *Carrier*

$it_{R \rightarrow C}$ = Rasio transmisi reduksi, *Input* dari *Ringgear* keluar melalui *Carrier*

❖ *Planetary gear* Rasio Reduksi

Rasio Reduksi Tipe-1



Gambar 11. Cara kerja *Planetary gear* tipe *Fix Rasio* dengan *Input* pada *Sun*, *Output* pada *Carrier*, pada *Ring*.

Rasio atas dasar jumlah *roda gigi*.

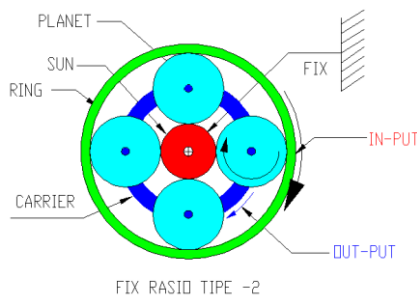
$$\omega_C = \frac{N_S}{N_S + N_R} * \omega_S \quad (5)$$

Torsi atas dasar jumlah *roda gigi*.

$$T_C = \frac{N_S + N_R}{N_S} * T_S \quad (6)$$

$$T_C = i_{S \rightarrow C} * T_S \quad (7)$$

Rasio Reduksi Tipe-2



Gambar 12. Cara kerja *Planetary gear* tipe Rasio dengan *Input* pada *Ring*, *Output* pada *Carrier*, pada *Sun*.

Rasio atas dasar jumlah *roda gigi*.

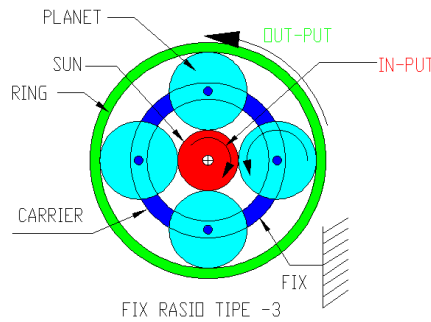
$$\omega_C = \frac{N_R}{N_S + N_R} * \omega_R \quad (8)$$

Torsi atas dasar jumlah *roda gigi*.

$$T_C = \frac{N_S + N_R}{N_R} * T_R \quad (9)$$

$$T_C = i_{R \rightarrow C} * T_R \quad (10)$$

Rasio Reduksi Tipe-3



Gambar13. Cara kerja *Planetary* geartipe Rasio dengan *Input* pada *Sun*, *Output* pada *Carrier*, pada *Ring*.

Rasio atas dasar jumlah *roda gigi*.

$$\omega_C (N_S + N_R) = (N_S * \omega_S) + (N_R * \omega_R) \quad (11)$$

$$\omega_R = \frac{-(N_S * \omega_S)}{N_R} \quad (12)$$

Torsi atas dasar jumlah *roda gigi*.

$$T_R = \frac{-(N_R * \omega_S)}{N_S} \quad (13)$$

$$T_R = i_{S \rightarrow R} * T_S \quad (14)$$

Dari analisa karakteristik panetary *gear* diatas dapat disimpulkan bahwa terdapat dua jenis rasio pada *Planetary Gear* Setantara lain: variabel rasio dan rasio.agar lebih memper jelas tentang jenis rasio PGS maka ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel1. Karakteristik *Power Splitting* PGS

INPUT		OUTPUT	TIPE SPLITING
SUN	RING	CARRIER	REDUKSI
RING	SUN	CARRIER	REDUKSI
RING	CARRIER	SUN	AKSELERASI
SUN-RING	-	CARRIER	VARIABEL RASIO

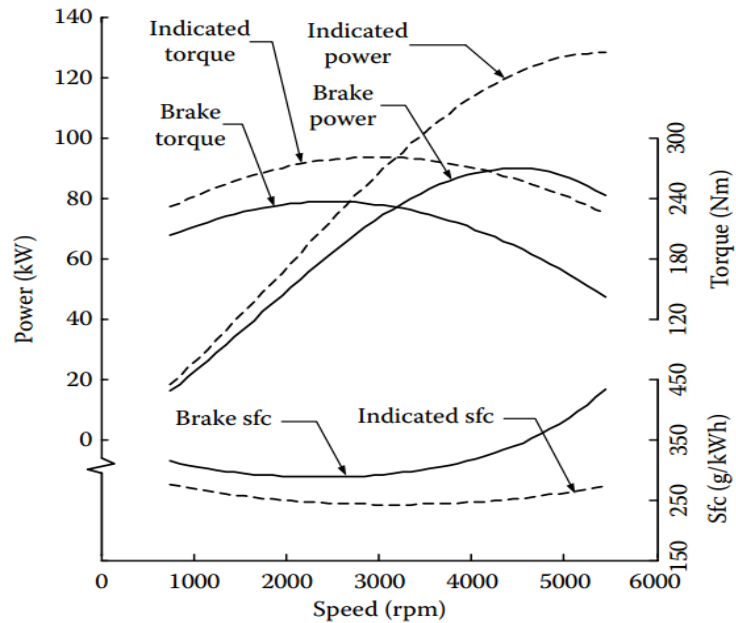
2.5.2. Motor Pembakaran Dalam

Motor pembakaran dalam (*Engine*) adalah alat pengubah daya kimia bahan bakar menjadi daya mekanik berupa putaran dan torsi. dimasa mendatang, *Engine* masih menjadi pembangkit daya yang masih *dominan*. Pada kendaraan listrik, *Engine* masih juga menjadi pilihan pertama sebagai sumber tenaga utama. Meskipun terdapat perbedaan penggunaan antara Kendaraan listrik (*HEV*) dengan kendaraan konvensional menggunakan *Engine*. perbedaan itu adalah dimana pada (*HEV*) *Engine* beroperasi pada kondisi optimalnya dengan daya yang tinggi kemudian daya tersebut diubah menjadi daya listrik. sedangkan pada Kendaraan konvensional adalah dimana daya *Engine* digunakan secara langsung untuk menggerakkan kendaraan sehingga kinerja dari *Engine* sering berubah ubah mengikuti kondisi medan jalan. seringnya perubahan kondisi kerja pada *Engine* inilah yang menyebabkan *Engine* tidak bekerja secara optimal yang berdampak pada efisiensi bahan bakar, [12]. Adapun gambar kuva karakteristik engin ditunjukkan pada gambar 14.

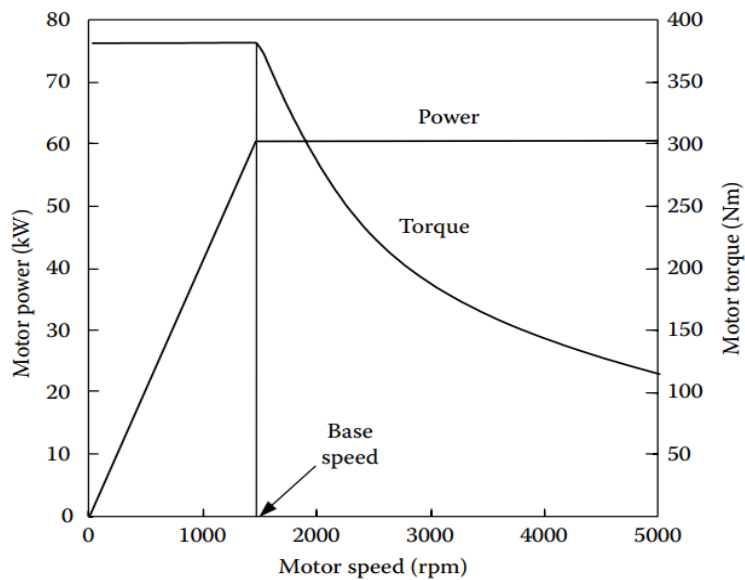
2.5.3. Motor Listrik

Motor listrik adalah alat pengubah daya listrik menjadi daya mekanik yang berupa putaran dan torsi. Kendaraan listrik (*HEV*) dengan Motor listrik sebagai penggerak utamanya memiliki banyak manfaat dibanding kendaraan *Engine* (*ICEV*), seperti halnya *tanpa* emisi, efisiensi tinggi, tidak tergantung pada BBM, tidak bising. Keunggulan yang dimiliki kendaraan listrik juga didukung oleh keunggulan yang dimiliki oleh motor listriknya antara lain : Pada motor listrik BLDC mampu memberikan torsi maksimum mulai dari awal berputar hingga

putaran optimalnya [12]. Sehingga tidak membutuhkan sistem transmisi yang multi tingkat. Adapun karakteristik motor listrik dengan beberapa kelebihanannya ditunjukkan pada gambar 15.



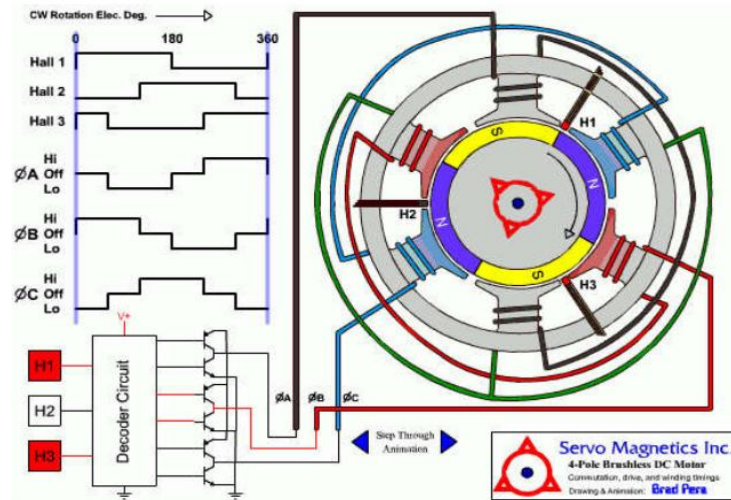
Gambar 14.Karakteristik Daya *Engine* terhadap variasi putaran[12].



Gambar 15.Karakteristik Motor terhadap fariasi perubahan kecepatan putaran[12].

Brush Less Direct Current Motor (BLDC) adalah salah satu jenis motor listrik DC yang sangat cocok untuk peralata dengan keandalan tinggi terutama

untuk diaplikasikan pada kendaraan listrik. untuk mengoperasikan motor ini diperlukan sistem kontrol untuk menjalankan prinsip komutasi/ pergeseran posisi induksi. adapun prinsip komutasi ditunjukkan pada gambar 13.



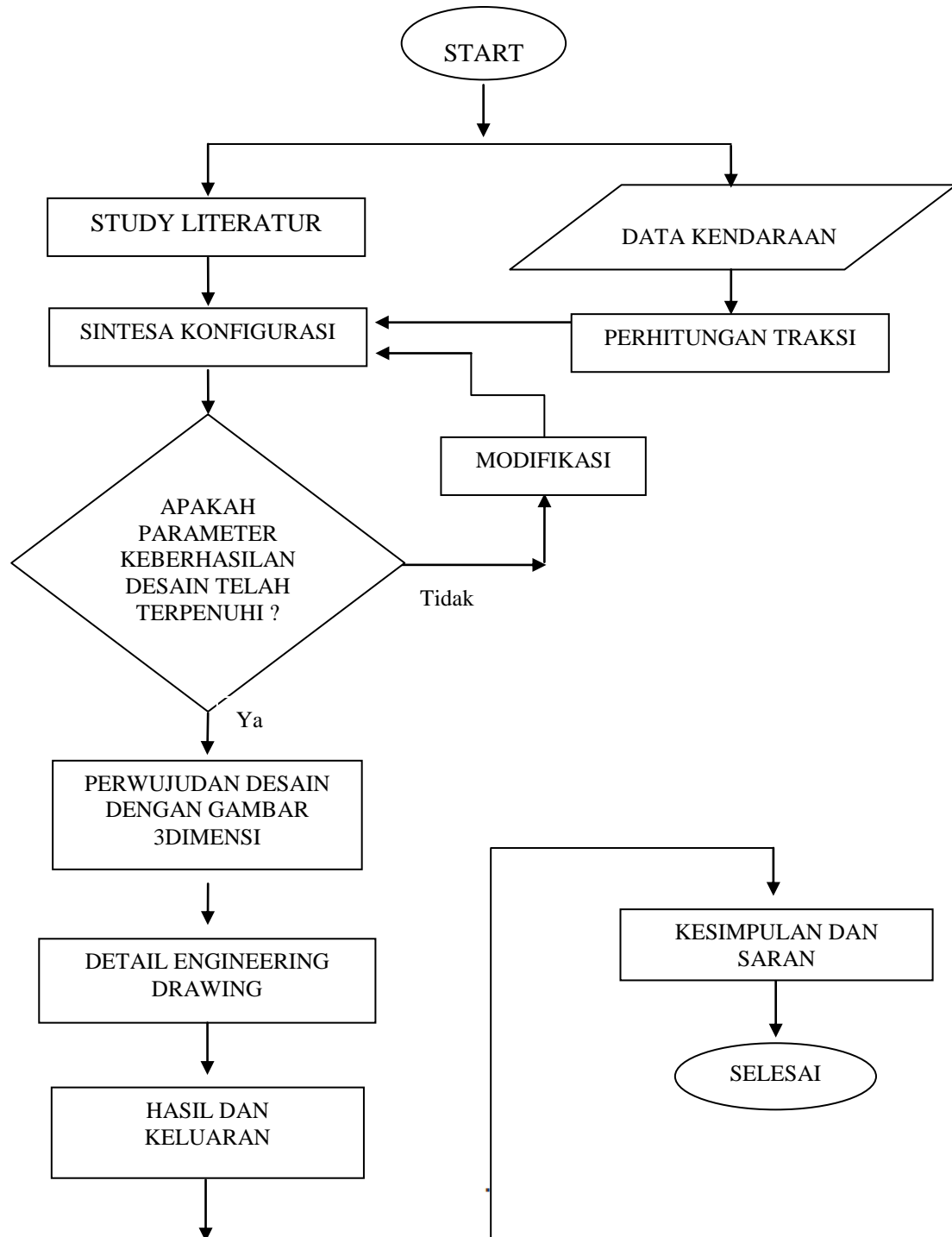
Gambar 16.Prinsip kerja komutasi Motor BLDC[13].

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 3

METODOLOGI

3.1. Flowchart Pengerjaan



Gambar 17.FlowChart Penelitian.

3.2. Penjelasan *Flowchart*

3.2.1. Studi Literatur

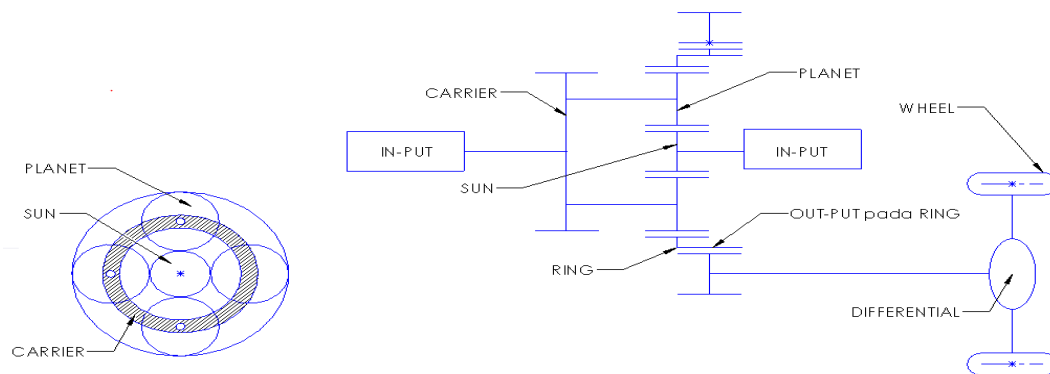
Study literatur telah dilakukan dan dibahas pada bab 2

3.2.2. Sintesa Konfigurasi

Metode sintesa digunakan untuk mendapatkan *konfigurasi* secara tepat terhadap penempatan *Engin*, *MG1*, *MG2* dan kopling pada susunan *Power Splitting*.

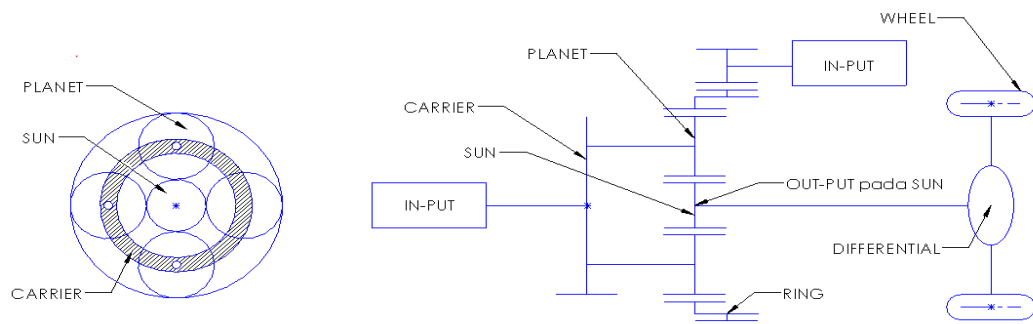
3.2.2.1. Sintesa *Input* dan *Output Power Splitting*

Sintesa ke 1 menjelaskan tentang *Power Splitting* menggunakan *singgelPGS* dimana terdapat dua *Input* dan satu *Output* (dua *Input* pada *Carrier* dan *Sun*, satu *Output* pada *Ring*). Konfigurasi hasil sintesa ke 1 ditunjukkan pada gambar 18.



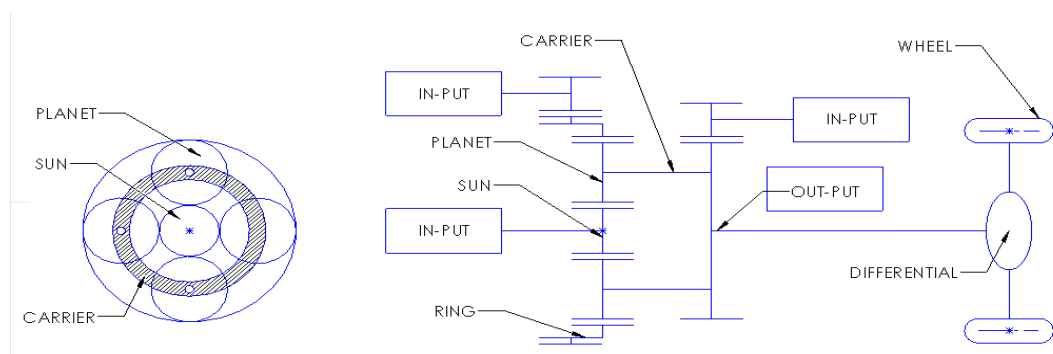
Gambar 18. Sintesa-1, Konfigurasi *Power Splitting* dengan *Output* pada bagian *Ring Gear*.

Sintesa ke 2 menjelaskan tentang *Power Splitting* menggunakan *singgelPGS* dimana terdapat dua *Input* dan satu *Output* (dua *Input* pada *Carrier* dan *Ring*, satu *Output* pada *Sun*). Konfigurasi hasil sintesa ke 2 ditunjukkan pada gambar 19.



Gambar 19.Sintesa-2, Konfigurasi *Power Splitt* dengan *Output* pada bagian *SunGear*.

Sintesa ke 3 menjelaskan tentang *Power Splitting* menggunakan *singgel PGS* dimana terdapat Tiga *Input* dan satu *OutputParallel* (Dua *Input* pada *Sun* dan *Ring* serta satu *Input* di-*Parallel*-kan dengan *carrier*, satu *Output* pada *Carrier*). Konfigurasi hasil sintesa ke 3 ditunjukkan pada gambar 20

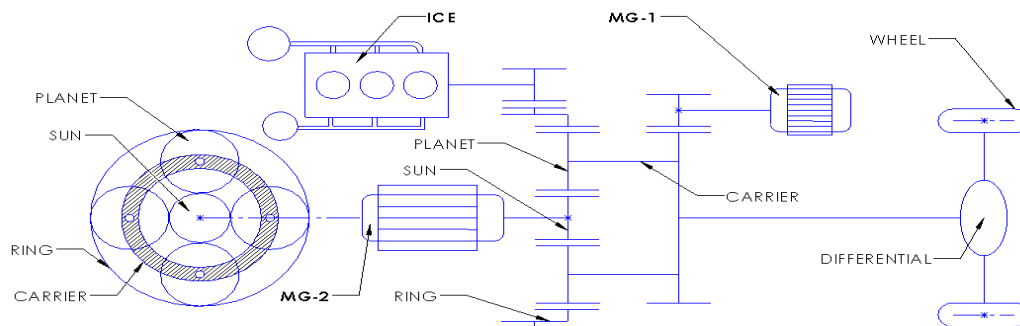


Gambar 20.Sintesa-3, Konfigurasi *Power Splitt* dengan *Output* pada bagian *carrier*.

Pada sintesa ke 3 merupakan *konfigurasi* terpilih dari *konfigurasi Power Splitting*. selanjutnya dari konfigurasi terpilih ini akan dilakukan sintesa lagi terhadap peletakan penggerak.

3.2.2.2. Sintesa Penempatan Penggerak

➤ Sintesa ke 4 menjelaskan tentang peletakan komponen penggerak *Power Splitting* dimana *Engine* masuk pada *Ring*, *Motor-1* masuk pada *Carrier*, *Motor-2* masuk pada *Sun*. Konfigurasi hasil sintesa ke 4 ditunjukkan pada gambar 21



Gambar 21.Sintesa-4, Konfigurasi Penggerak dimana: ICE pada Ring, MG1 pada Carrier, MG2 pada Sun.

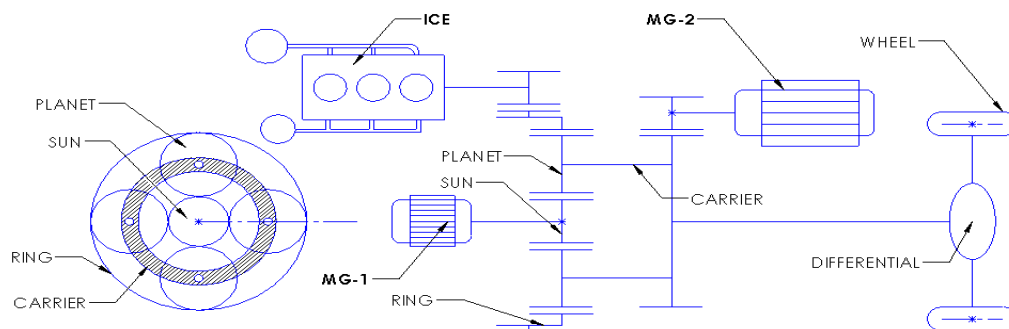
Adapun daftar modaoperasi yang tersedia dengan konfigurasi pada sintesa 4 ditunjukkan pada tabel 2:

Tabel 2.Daftar Moda yang tersedia pada Konfigurasi Sintesa 4

No	Nama Moda yang Tersedia	Modayang tersedia	Carakerja komponen penggerak	Kondisi Kebutuhan Energi
1	Starting Motor 2	×	Motor-2 menggerakkan Engin sebelum kendaraan melaju	Rendah
2	Chargingwhile stand still	×	G-2 mengubah daya engin menjadi listrik	Rendah
3	Engine	×	Engine sebagai penggerak tunggal	Menengah
4	Motor-2	×	Motor-2 sebagai penggerak tunggal	Menengah
5	Motor-1	×	Motor-1 sebagai penggerak tunggal	
6	Parallel	×	Engine dan Motor-1 sebagai penggerak	Tinggi
7	Seri-Parallel	×	Sebagian Daya Engine untuk menggerakkan kendaraan dan sebagian lagi diubah menjadi listrik oleh Generator 2 untuk disimpan di batrey. pada saat yang sama Motor 1 juga memberikan dayanya untuk menggerakkan kendaraan.	Menengah - Tinggi
8	ECVT			
9	ParallelECVT			
11	RegenerativeBraking	×	Salah satu dari G1 atau G2 sebagai Generator	Recovery Energy

12	<i>Compound Braking</i>	×	<i>G1 dan G2 keduanya sebagai generator</i>	Recovery Energy
13	<i>Reversing Drive</i>	×	<i>Motor 1 dan atau Motor 2 sebagai penggerak dengan putaran berbalik arah</i>	Menengah atau Rendah
TOTAL MODA TERSEDIA		11		

➤ Sintesa ke 5 menjelaskan tentang peletakan komponen penggerak *Power Splitting* dimana *Engine* masuk pada *Ring*, *Motor-1* masuk pada *Sun*, *Motor-2* masuk pada *Carrier*. Konfigurasi hasil sintesa ke 5 ditunjukkan pada gambar 22.



Gambar 22. Sintesa-5, Konfigurasi Penggerak dimana: ICE pada *Ring*, MG1 pada *Sun*, MG2 pada *Carrier*.

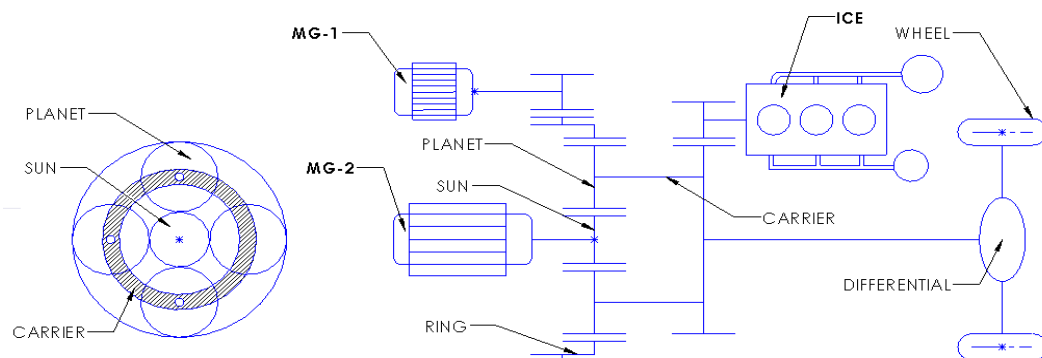
Adapun daftar moda operasi yang dapat dicapai dengan konfigurasi dari sintesa 5 ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Daftar Moda yang tersedia pada Konfigurasi Sintesa 5.

No	Nama Moda	Moda yang tersedia	Carakerja komponen penggerak	Kondisi Kebutuhan Energi
1	<i>Starting Motor1</i>	×	<i>Motor -1</i> menggerakkan <i>Engine</i> pada saat kendaraan diam	Rendah
2	<i>Charging while stand still</i>	×	<i>Generator -1</i> mengubah daya <i>Engine</i> menjadi listrik	Rendah
3	<i>Engine</i>	×	<i>Engine</i> sebagai penggerak tunggal	Menengah
4	<i>Motor-2</i>	×	<i>Motor-2</i> sebagai penggerak tunggal	Menengah
5	<i>Motor-1</i>	×	<i>Motor-1</i> sebagai penggerak tunggal	Rendah
6	<i>Parallel</i>	×	<i>Engine</i> dan <i>Motor-2</i> sebagai penggerak	Tinggi

7	<i>Seri-Parallel</i>	×	Sebagian Daya <i>Engine</i> untuk menggerakkan kendaraan dan sebagian lagi diubah menjadi listrik oleh <i>Generator 1</i> untuk disimpan di <i>batrey</i> . pada saat yang sama <i>Motor 2</i> juga memberikan dayanya untuk menggerakkan kendaraan.	Menengah Tinggi
8	<i>ECVT</i>			
9	<i>ParallelECVT</i>			
10	<i>RegenerativeBraking</i>	×	Salah satu dari G1 atau G2 sebagai <i>Generator</i>	Recovery Energy
11	<i>Compound Braking</i>	×	G1 dan G2 keduanya sebagai <i>generator</i>	Recovery Energy
12	<i>ReversingDrive</i>	×	<i>Motor 1</i> dan atau <i>Motor 2</i> sebagai penggerak dengan putaran berbalik arah	Menengah atau Rendah
TOTAL MODA TERSEDIA		11		

➤ Sintesa ke 6 menjelaskan tentang peletakan komponen penggerak *Power Splitting* dimana *Engine* masuk pada *Carrier*, *Motor-1* masuk pada *Ring*, *Motor-2* masuk pada *Sun*. Konfigurasi hasil sintesa ke 6 ditunjukkan pada gambar 23.



Gambar 23. Sintesa-6, Konfigurasi Penggerak dimana: ICE pada *Carrier*, MG1 pada *Ring*, MG2 pada *Sun*.

Adapun daftar moda operasi yang dapat dicapai dengan konfigurasi dari sintesa 6 ditunjukkan pada tabel 4.

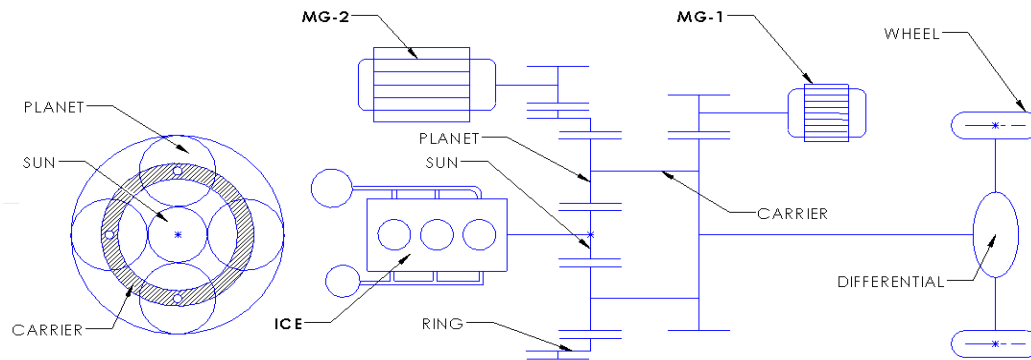
Tabel 4. Daftar Moda yang tersedia pada Konfigurasi Sintesa 6.

No	Nama Moda	Modayang tersedia	Carakerja komponen penggerak	Kondisi Kebutuhan
----	-----------	-------------------	------------------------------	-------------------

				Energi
1	<i>Starting</i>	Tidak memungkinkan		
2	<i>Chargingwhile stand still</i>	Tidak memungkinkan		
3	<i>Engine</i>	Tidak memungkinkan		
4	<i>Motor-2</i>	Tidak memungkinkan		
5	<i>Motor-1</i>	Tidak memungkinkan		
6	<i>Parallel</i>	Tidak memungkinkan		
7	<i>ECVT</i>	Tidak memungkinkan		
8	<i>ParallelECVT</i>	Tidak memungkinkan		
9	<i>Compound driving</i>	Tidak memungkinkan		
10	<i>RegenerativeBraking</i>	Tidak memungkinkan		
11	<i>Compound Braking</i>	Tidak memungkinkan		
12	<i>ReversingDrive</i>	Tidak memungkinkan		
TOTAL MODA TERSEDIA		0		

Pada sintesa 6 tidak terdapat moda operasi yang tersedia ini dikarenakan bahwa konfigurasi tersebut tidak dapat memberikan kesempatan pada *Engine* untuk bekerja pada putaran kerjanya karna poros *Engine* terhubung langsung dengan poros gardan, dimana *Engine* mulai dapat bekerja pada putaran diatas putaran *start*-nya atau setidaknya putaran stasionernya sedangkan rasio pada gardan belum cukup untuk mengizinkan *Engine* bekerja dengan porosnya terhubung langsung ke gardan. dengan kata lain *Engine* tidak dapat bekerja pada putaran mendekati nol atau kurang dari putaran *stasioner*-nya. hal ini sangat berbeda dengan kondisi kerja pada *motor* yang dapat bekerja pada putaran mendekati nol sampai putaran maksimumnya.

➤ Sintesa ke 7 menjelaskan tentang peletakan komponen penggerak *Power Splitting* dimana *Engine* masuk pada *Sun*, *Motor-1* masuk pada *Carrier*, *Motor-2* masuk pada *Ring*. Konfigurasi hasil sintesa ke 7 ditunjukkan pada gambar 24.



Gambar 24.Sintesa-7, Konfigurasi Penggerak dimana: ICE pada Sun, MG1 pada Carrier, MG2 pada Ring.

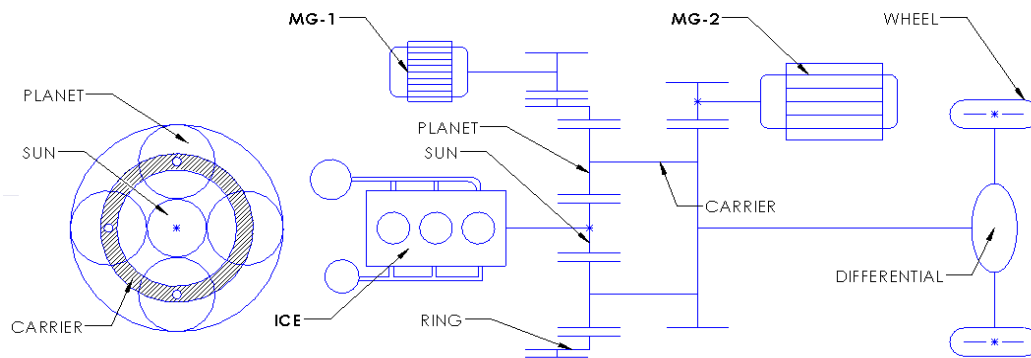
Adapun daftar modaoperasi yang dapat dicapai dengan konfigurasi dari sintesa 7 ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5.Daftar Moda yang tersedia pada Konfigurasi Sintesa 7.

No	Nama Moda	Modayang tersedia	Carakerja komponen penggerak	Kondisi Kebutuhan Energi
1	<i>Starting Motor 2</i>	× Tidak disarankan	<i>Motor-2</i> menggerakkan <i>Engine</i> pada saat kendaraan diam	Rendah
2	<i>Chargingwhile stand still</i>	×	<i>Generator-2</i> mengubah daya <i>Engine</i> menjadi listrik	Rendah
3	<i>Engine</i>	×	<i>Engine</i> sebagai penggerak tunggal	Menengah
4	<i>Motor-2</i>	×	<i>Motor-2</i> sebagai penggerak tunggal	Menengah
5	<i>Motor-1</i>	× Tidak disarankan	<i>Motor-1</i> sebagai penggerak tunggal	Paling Rendah
6	<i>Parallel</i>	×	<i>Engine</i> dan <i>Motor-2</i> sebagai penggerak	Tinggi
7	<i>Seri-Parallel</i>	×	Sebagian Daya <i>Engine</i> untuk menggerakkan kendaraan dan sebagian lagi diubah menjadi listrik oleh <i>Generator 1</i> untuk disimpan di <i>batrey</i> . pada saat yang sama <i>Motor 2</i>	Menengah - Tinggi

			juga memberikan dayanya untuk menggerakkan kendaraan.	
8	<i>ECVT</i>	× Tidak disarankan	<i>Engine</i> sebagai penggerak utama sedangkan <i>Motor-2</i> sebagai <i>Counter torsi</i> , namun karna <i>Motor-2</i> memiliki daya yang besar maka dikawatirkan daya dari <i>motor-2</i> akan melawan daya dari <i>engin</i> dan justru akan mematikan <i>Engine</i>	Tinggi
9	<i>ParallelECVT</i>	×	<i>Engines</i> sebagai penggerak utama sedangkan <i>Motor-2</i> sebagai <i>Counter torsi</i> ditambah lagi daya dari <i>motor-1</i>	Paling Tinggi
10	<i>Circulation Energi</i>	×	Sirkulasi <i>energi</i> dari <i>Motor 1</i> ke <i>Generator 2</i> .	
11	<i>Regenerative Braking</i>	×	Salah satu dari <i>Motor 1</i> atau <i>Motor 2</i> sebagai <i>Generator</i>	Recovery Energy
12	<i>Compound Braking</i>	×	<i>Motor 1</i> dan <i>Motor 2</i> keduanya sebagai <i>generator</i>	Recovery Energy
13	<i>Reversing Drive</i>	×	<i>Motor 1</i> dan atau <i>Motor 2</i> sebagai penggerak dengan putaran berbalik arah	Menengah atau Rendah
TOTAL MODA TERSEDIA		13	Ada 2 moda yang tidak disarankan	

➤ Sintesa ke 8 menjelaskan tentang peletakan komponen penggerak *Power Splitting* dimana *Engine* masuk pada *Sun*, *Motor -1* masuk pada *Ring*, *Motor-2* masuk pada *Carrier*. Konfigurasi hasil sintesa ke 8 ditunjukkan pada gambar 25.



Gambar 25.Sintesa-8, Konfigurasi Penggerak dimana: ICE pada *Sun*, MG1 pada *Ring*, MG2 pada *Carrier*.

Adapun daftar moda operasi yang dapat dicapai dengan konfigurasi dari sintesa 8 adalah:

Tabel 6.Daftar Moda yang tersedia pada Konfigurasi Sintesa 8.

No	Nama Moda	Modayang tersedia	Carakerja komponen penggerak	Kondisi Kebutuhan Energi
1	<i>Starting Motor 1</i>	×	<i>Motor-1</i> menggerakkan <i>Engin</i> pada saat kendaraan diam	Rendah
2	<i>Chargingwhile stand still</i>	×	<i>Generator-1</i> mengubah daya engin menjadi daya listrik	Rendah
3	<i>Engine</i>	×	<i>Engine</i> sebagai penggerak tunggal	Menengah
4	<i>Motor-2</i>	×	<i>Motor-2</i> sebagai penggerak tunggal	Menengah
5	<i>Motor-1</i>	×	<i>Motor-1</i> sebagai penggerak tunggal	Rendah
6	<i>Parallel</i>	×	<i>Engine</i> dan <i>Motor-2</i> sebagai penggerak	Tinggi
7	<i>Seri-Parallel</i>	×	Sebagian Daya <i>Engine</i> untuk menggerakkan kendaraan dan sebagian lagi diubah menjadi listrik oleh <i>Generator 1</i> untuk disimpan di <i>batrey</i> . pada saat yang sama <i>Motor 2</i> juga memberikan dayanya untuk menggerakkan kendaraan.	Menengah - Tinggi
8	<i>ECVT</i>	×	<i>Engine</i> sebagai penggerak utama sedangkan <i>Motor-2</i> sebagai <i>Counter torsi</i> .	Tinggi

9	<i>ParallelECVT</i>	×	<i>Engine</i> sebagai penggerak utama sedangkan <i>Motor-1</i> sebagai <i>Counter torsi</i> ditambah lagi daya dari <i>motor-2</i>	Paling Tinggi
10	<i>RegenerativeBraking</i>	×	Salah satu dari <i>Motor 1</i> atau <i>Motor 2</i> sebagai <i>Generator</i>	Recovery Energy
11	<i>Compound Braking</i>	×	<i>Motor 1</i> dan <i>Motor 2</i> keduanya sebagai <i>generator</i>	Recovery Energy
12	<i>Reversing</i>	×	<i>Motor 1</i> dan atau <i>Motor 2</i> sebagai penggerak dengan putaran berbalik arah	Menengah atau Rendah
TOTAL MODA TERSEDIA		13		

Pada sintesa ke 8 adalah sintesa terpilih dari konfigurasi peletakan penggerak (*Prime mover*). konfigurasi ini dianggap paling baik dan selanjutnya akan disederhanakan menjadi *konfigurasi* yang kompak yang dapat memadukan penempatan dua buah *motor* dan satu set *PGS* serta kopling putar dan kopling rem. bentuk konfigurasi kompak yang dikembangkan dari sintesa 8 akan ditunjukkan pada tahap Perwujudan desain gambar 27.

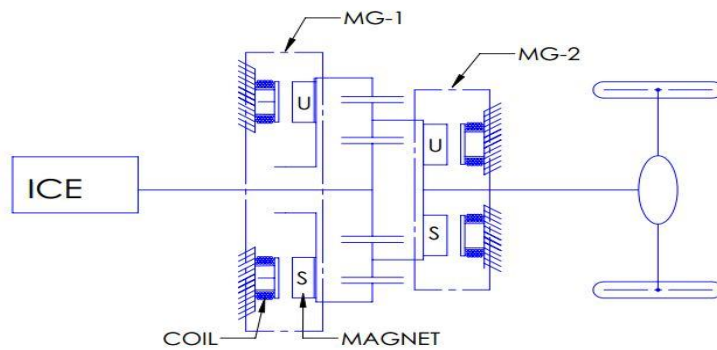
3.2.3. Parameter Keberhasilan desain

Adapun beberapa *parameter* keberhasilan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Tercapainya konfigurasi *Power Splitting* menggunakan *PGS* yang dapat memadukan daya *Engine* dan daya dua motor listrik.
2. Tercapainya 12 Moda operasi yang ditargetkan pada proposal tesis.
3. Tercapainya Perwujudan Desain berupa gambar 3 Dimensi
4. Tercapainya analisa traksi pada setiap moda operasi traksi.

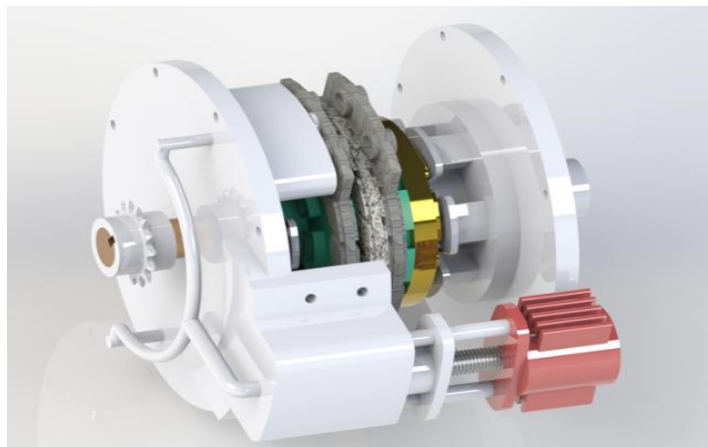
3.2.4. Perwujudan Desain Gambar 3D

Sebelum dilakukan perwujudan desain maka perlu dilakukan penyederhanaan dari konfigurasi terpilih yaitu konfigurasi pada sintesa ke 8. Penyederhanaan ini bertujuan untuk menggabungkan konstruksi dari dua buah *motor* ke dalam satu sistem transmisi yang kompak. Adapun gambar konfigurasi yang sudah disederhanakan ditunjukkan pada gambar 26.



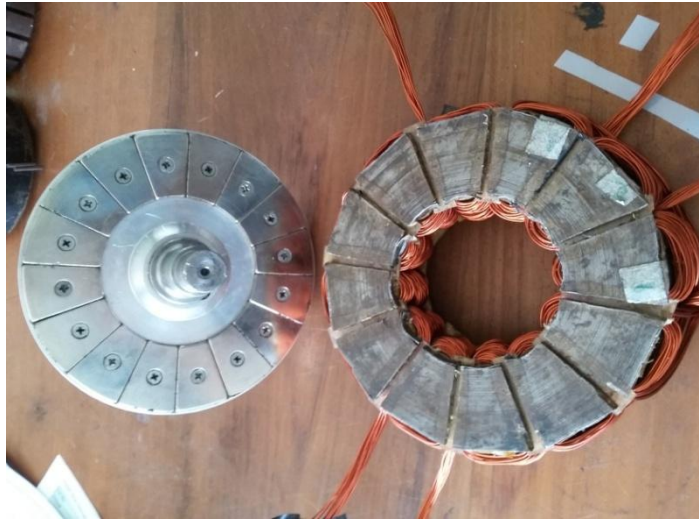
Gambar 26.Konfigurasi Kompak yang Menggabungkan dua M/G kedalam satu sistem transmisi.

Dari konfigurasi kompak selanjutnya dibuat gambar desain 3Dimensi lalu dari gambar tersebut dipakai untuk Simulasi Pemodalan. adapun gambar 3Dimensi tersebut ditunjukkan pada gambar 27.



Gambar 27.Perwujudan Desain dari konfigurasi terpilih.

Transmisi yang dirancang pada penelitian ini dapat menggunakan motor listrik BLDC jenis aksial yang sudah pernah dibuat oleh salah satu workshop milik jurusan teknik mesin ITS (LAB-MOLINA). Motor listrik buatan MOLINA sudah berhasil diaplikasikan pada mobilsepeda motor dan dapat beroperasi dengan baik. adapun contoh sebagian dari komponen motor yang telah dibuat ditunjukkan pada gambar 28.



Gambar 28.Komponen BLDC yang sudah berhasil dibuat, yaitu Rotor dengan Magnetnya dan Stator dengan kumparan kawat tembaganya.

3.2.5. *Detail Engineering Drawing*

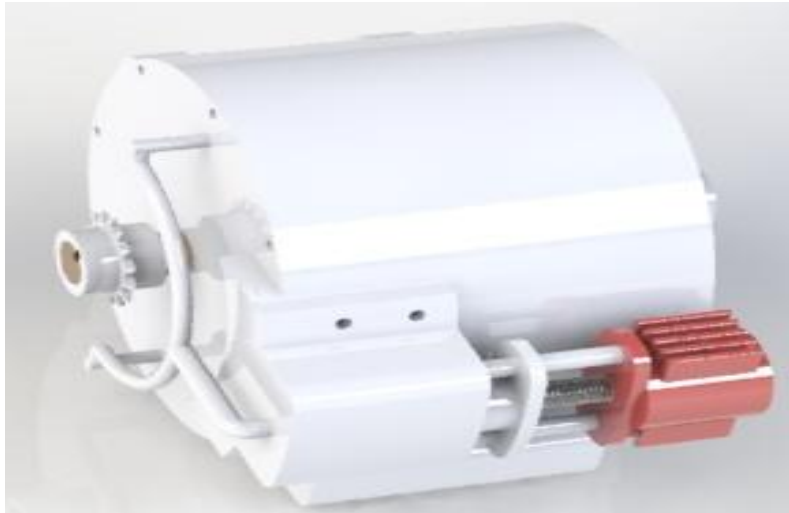
Untuk mendukung proses pembuatan setiap komponen *transmisi* yang diusulkan maka akan di lampirkan pula gambar *Detail Engineering Drawing* yang nantinya dibutuhkan dalam proses manufaktur dan *assembly*.

3.2.6. Hasil dan Keluaran

Terdapat dua Hasil dan keluaran dari penelitian ini antara lain berupa:

1. Basic desain gambar 3D Transmisi Hibrid Kompak dengan dua Motor.

Pada penelitian ini akan dihasilkan modal desain lengkap Transmisi Hibrid dengan didukung gambar *Detail Engineering Drawing* sebagai pendukung proses pembuatan seluruh *spare part* yang ada pada transmisi yang diusulkan ini. Transmisi ini dirancang sedemikian rupa agar lebih mudah melakukan modifikasi dan untuk mengganti transmisi konvensional yang sudah ada pada kendaraan sekarang ini. Gambar rancangan dasar ditunjukkan pada gambar 29.



Gambar 29.Target Luaran Transmisi Hibrid.

2. Grafik Analisa Traksi di Setiap Moda Operasi.

Hasil analisa traksi disetiap moda operasi disajikan dalam bentuk grafik yang akan dijelaskan di analisa traksi pada bab 4.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4

ANALISA DAN HASIL

4.1. Spesifikasi

Data spesifikasi yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari satu perusahaan mobil yaitu Fiat. Spesifikasi tersebut meliputi Data Kendaraan, Data *Engine*, Data Motor Listrik.

4.1.1. Data Kendaraan

Kendaraan yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis sedan dengan profil seperti ditunjukkan pada gambar 30.



Gambar 30.Kendaraan jenis sedan yang akan menggunakan transmisi pada penelitian ini.

Data kendaraan

Tabel 7.Data Kendaraan.

<i>Wheelbase: (2,300m)</i>	<i>Overall Height: (1,527m)</i>
<i>Track, Front: (1,407m)</i>	<i>Ground Clearance: (115cm)</i>
<i>Track, Rear: (1,397m)</i>	<i>Drag Coefficient (Cd): 0.311</i>
<i>Overall Length: (3,617m)</i>	<i>Weight, (kg): (1355)</i>
<i>Overall Width: (1,627m)</i>	<i>Weight Distribution, percent Front/Rear: 57 / 43</i>

4.1.2. Data Engine

Jenis *Engine* yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis *Engine Turbodiesel 2.0L* berbahan bakar solar. Adapun spesifikasi *Engine* tersebut ditunjukkan pada gambar 31.



Gambar 31. Spesifikasi *Engine*.

4.1.3. Data Motor Listrik

Jenis motor listrik yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis motor listrik BLDC yang umum dipakai pada kendaraan mobil listrik jenis sedan. Spesifikasi Motor-1 dan Motor-2 adalah sama, hal ini untuk mempermudah dalam hal mengontrol motor tersebut. Adapun spesifikasi dari motor listrik ditunjukkan pada gambar 32.



Gambar 32. Spesifikasi Motor Listrik.

Data motor listrik yang digunakan dalam analisa traksi ditunjukkan pada tabel 8.

Tabel 8.Data Motor listrik

Tipe: <i>Permanent magnetic electric traction with electric-parking</i>		
Power	(SAE) 111-bhp	(83KW)
Torque	(SAE) 147-lb.-ft.	(200N•m)
Battery: 12 volt, 500 CCA, maintenance free		

4.2. Desain *Planetary Gear*

Perancangan Rasio *Planetary Gear* didasarkan atas beberapa aspek berikut:

1. Rasio yang sudah ada pada gardan
2. Jenis transmisi (Reduksi, Percepatan atau Variabel Rasio)
3. Kecepatan maksimal kendaraan dan kebutuhan traksi maksimal.
4. Putaran kerja minimal dan maksimal pada *Engine* (Pertimbangan pada Moda *Engine*)
5. Putaran optimal dan maksimal pada Motor (Pertimbangan pada semua moda yang menyangkut Motor)

4.2.1. Parameterkonstrain untuk mendesain *Planetary*

1. Batasan diameter terbesar yang diijinkan pada *RingGear* adalah 100 mm sedangkan diameter *Ringgear* yang masih dapat digunakan adalah 78 mm.
 2. Diameter Minimal, lubang poros pada *SunGear* adalah 20 mm sedangkan diameter yang digunakan adalah 22 mm.
 3. Dari perhitungan rasio transmisi pada moda *Engine* adalah 1:4
- Dari ketiga *parameter* konstrain desain *planetary* diatas maka dilakukan beberapa

4.2.2. Langkah langkah Merancang *Planetary Gear*

1. Rasio *GearReduksi* Tipe-1
- Rasio prioritas adalah pada moda *Enginedimana* *Input* pada *sun*, *Output* pada *Carrier* dan pada *ring*. Pada moda *Enginediinginkan* terjadi rasio reduksi sebesar 4 kali.Untuk meng-Illustrasikan rasio reduksi tetap tipe-1 dapat dilihat pada gambar 12.

$\frac{\text{input pada Sun}}{\text{output pada Carrier}} = \frac{\omega_S}{\omega_C} = \frac{4}{1}$, \Rightarrow sehingga berlakulah persamaan PGS tipe reduksi sebagai berikut :

$$\omega_C = \frac{N_S}{N_S + N_R} * \omega_S \quad (5)$$

$$1 = \frac{N_S}{N_S + N_R} * 4$$

- Dengan konstrain no.1 dimana diameter *Ring* terbesar adalah kurang dari 100mm, maka dipilihlah Diametral Pitch Circle pada *Ring* sebesar 78 mm. adapun hubungan Diametral Pitch Circle Pada *Ring* dengan jumlah gigi pada *ring* adalah sebagai berikut:

$$D_R = M * N_R \quad (15)$$

$$78 = 1 * N_R$$

$$\text{Jumlah gigi ring} = N_R = 78$$

D_R = Diametral Circle *RingGear*

M = Modul gigi yang digunakan ($M = 1$)

N_R = Jumlah gigi *Ring*

didapatkan jumlah gigi *Ringgear* adalah 78. selanjutnya dengan memasukkan $N_R = 78$ ke dalam persamaan (5), maka didapatkan jumlah gigi *Sun* sebagai berikut:

$$1 = \frac{N_S}{N_S + 78} * 4$$

$N_S = 26$, untuk mencari diametral *gearSun* maka dicari dengan menggunakan persamaam (14)

$$D_S = M * N_S$$

$$D_S = 1 * 26 = 26$$

Didapatkan diametral *Sun* adalah $D_s = 26$

setelah diketahui $N_S = 26$, selanjutnya mencari jumlah gigi Planet dengan cara sebagai berikut :

$$D_P = \frac{D_R - D_S}{2}$$

$$D_P = \frac{78 - 26}{2}$$

$$D_p = 26.$$

D_p = Diametral Circle Planet Gear

D_R = Diametral Circle RingGear

Didapatkan $D_p = 26$, selanjutnya digunakan untuk menghitung jumlah gigi pada gear planet dengan cara sebagai berikut:

$$D_p = M * N_p$$

$$26 = 1 * N_p$$

$$\text{Jumlah gigi Planet} = N_p = 26$$

2. Rasio Reduksi PGS tipe-2

Untuk mengetahui rasio reduksi dari *Input* pada *Ring* dan *Output* pada *Carrier* adalah dengan menggunakan persamaan (8). Untuk mengilustrasikan rasio reduksi tetap tipe-1 dapat dilihat pada gambar 13.

$$\omega_C = \frac{N_S}{N_S + N_R} * \omega_R \quad (8)$$

$$1 = \frac{78}{26 + 78} * \omega_S$$

$$\omega_S = 1.333333$$

maka didapatkan rasio reduksi dari *Ring* ke *Carrier* adalah sebesar

$$\omega_S = 1.333333$$

Jadi dari perancangan PGS didapatkan $N_p = 26$, $N_S = 26$, dan $N_R = 78$, selanjutnya digunakan untuk melakukan proses manufaktur pembuatan PGS.

🚦 Catatan Penting : Untuk membuat Gear maka *parameter* penting yang harus kita berikan kepada pihak manufaktur adalah Modul (M) dan Jumlah gigi (N), sedangkan Diametral Circle (DC) tidak perlu diberikan karna DC merupakan perkalian antara modul (M) dengan jumlah gigi (N)

4.3. Analisa Moda Operasi

Data perhitungan traksi

Data yang digunakan dalam analisa perhitungan traksi disajikan pada tabel 10 dan 11.

Tabel 9.Data kendaraan untuk analisa traksi.

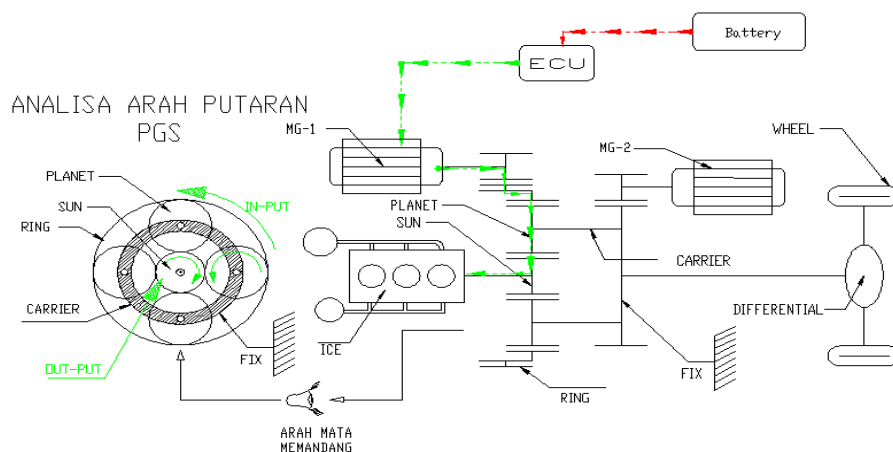
Notasi	Nilai	Satuan	Keterangan
m	1355	Kg	Berat kendaraan
A	2.4	m^2	Frontal Area
Cd	0.35		Coeficient Drag
rho	1.225	$\frac{Kg}{m^3}$	masa jenis udara
f_r	0.015		<i>Rolling Coefficient</i>
g	9.81	m/s ²	Gravitasi
R _{roda}	0.284	m	Radius Dinamis Roda (tabel A1)lampiran
π	3.1415		
(Rr)	49.8	N	hambatan roling
η_t	0.85		Efisiensi transmisi
η_g	0.85		Efisiensi gardan

Tabel 10.Sudut Tanjakan untuk analisa traksi.

$\theta_1 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5.71^\circ$	$\theta_3 = 11.31^\circ$	$\theta_4 = 16.7^\circ$	$\theta_5 = 21.8^\circ$	$\theta_6 = 26.56^\circ$
0	0.0995	0.19612	0.2874	0.3714	0.47135
$m \cdot g \cdot \sin(\theta_1)$	$m \cdot g \cdot \sin(\theta_2)$	$m \cdot g \cdot \sin(\theta_3)$	$m \cdot g \cdot \sin(\theta_4)$	$m \cdot g \cdot \sin(\theta_5)$	$m \cdot g \cdot \sin(\theta_6)$
0	1322.60	2606.93	3820.27	4936.85	6265.44

4.3.1. Analisa Moda Operasi *StartingEngine*

Motor 1 mendayagunakan energi listrik dari *batrey* untuk menghidupkan mesin. Konfigurasi *Power Spliting* pada moda ini adalah daya dari *motor 1* masuk ke *Ring* dan keluar dari *Sun* menuju ke *Engine*, sedangkan pada bagian *Carrier* dikondisikan diam/ atao pada kondisi kendaraan belum berjalan. Moda ini bekerja pada kondisi kendaraan masih diam. Diagram aliran daya Moda *StartingEngine* menggunakan Motor -1 ditunjukkan pada gambar 33.



Gambar33.Diagram aliran daya Moda *StartingEngine* menggunakan Motor -1.

4.3.1.a. *Parameter kontrol moda StartingEngine.*

Untuk dapat melaksanakan moda operasi *StartingEngine*.maka perangkat penggerak harus dioperasikan sesuai pada kondisi kerja yang dijelaskan pada tabel 11.

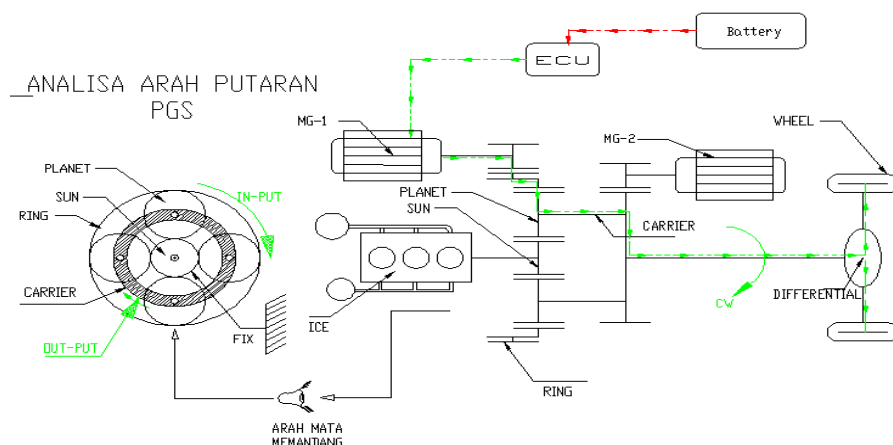
Tabel 11.*Parameter kontrol Moda StartingEngine.*

PARAMETER YANG DI SENSOR	PARAMETER YANG DI KONTROL			
V_k (Km/h)	MOTOR-1		ENGINE	
	Putaran (Rpm),	Arah Putaran	Putaran (Rpm),	Arah Putaran
0	1700	(CCW)	1250	(CW)

4.3.2. *Analisa Moda Charging While Stand Still*

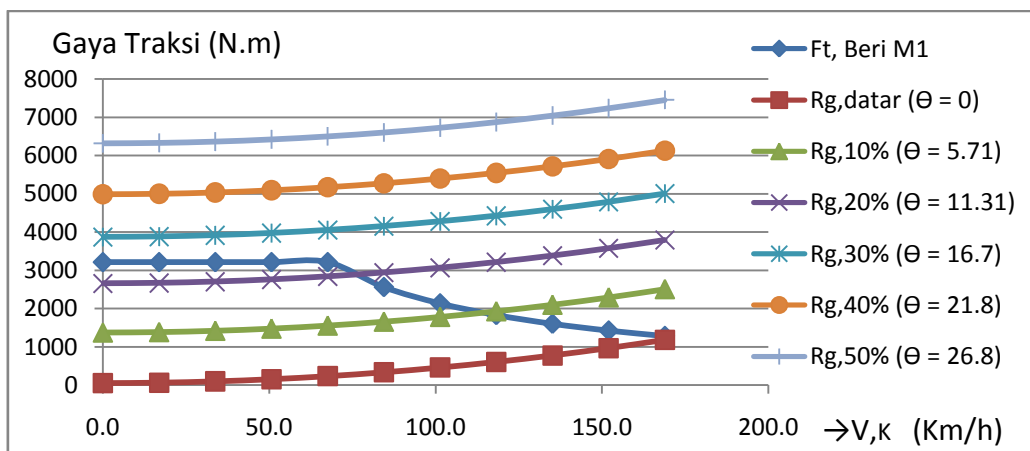
Moda *Charging while stand still* berlaku bilamana kendaraan masih dalam keadaan diam sedangkan *Engine* memerlukan pemanasan. Moda ini hanya digunakan untuk memanfaatkan energi *Engine* pada saat melakukan pemanasan. Moda ini memberikan fasilitas pada *Engine* untuk melakukan pemanasan mulai dari putaran stasioner hingga putaran maksimumnya namun kendaraan tetap dalam kondisi diam. Berikut ini adalah Diagram aliran daya Moda *Charging while stand Still*. Pada moda ini memberikan kemampuan untuk memanfaatkan energi dari *Engine* pada saat *Engine* melakukan pemanasan. Konfigurasi *Power Splitting* pada moda ini adalah daya dari *Engine* masuk ke *Sun* dengan keluaran dari *Ring* menuju ke *Motor 1*, sedangkan pada bagian *Carrier* dikondisikan diam/

kecepatan menengah namun memiliki kemampuan tahanan yang tinggi. Diagram aliran daya Moda Motor-1 ditunjukkan pada gambar 35.



Gambar 35. Diagram aliran daya Moda Motor-1

Dengan menggunakan Spesifikasi motor-1 kedalam analisa perhitungan traksimaka didapatkan grafik karakteristik traksi Moda Motor-1 seperti ditunjukkan pada gambar 36.



Gambar 36. Grafik Karakteristik Traksi Moda Motor-1

Penjelasan grafik Moda Motor-1:

Dari Grafik traksi Moda Motor-1 menunjukkan bahwa traksi yang diberikan oleh motor-1($F_{t, \text{Beri M1}}$) mampu melewati hambatan tanjak (R_g) sebesar 20% pada kecepatan(V_k)sebesar= 67 Km/jam. sedangkan kecepatan maksimal pada moda ini adalah $(V_k)_{\text{max}}$ = 168 Km/h. Moda ini berlaku pada kecepatan kendaraan antara 0 -168 km/h.

4.3.3.a. Parameter kontrol moda Motor-1

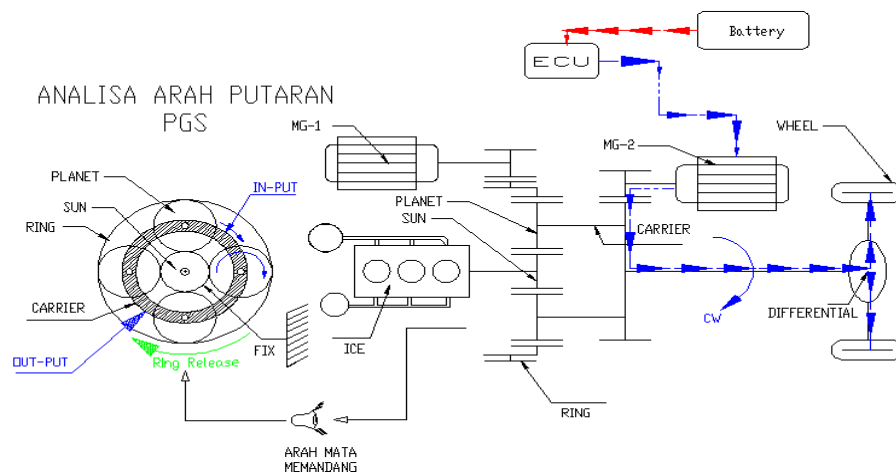
Untuk dapat melaksanakan moda operasi Moto-1 maka perangkat penggerak harus dioperasikan pada kondisi kerja yang dijelaskan pada tabel 13

Tabel 13. Parameter kontrol Moda Motor-1

PARAMETER YANG DI SENSOR	PARAMETER YANG DI KONTROL			
V_k (Km/h)	MOTOR-1		ENGINE	
	Putaran (Rpm),	Arah Putaran	Putaran (Rpm),	Arah Putaran
0 - 46.9	0 - 10000	(CW)		

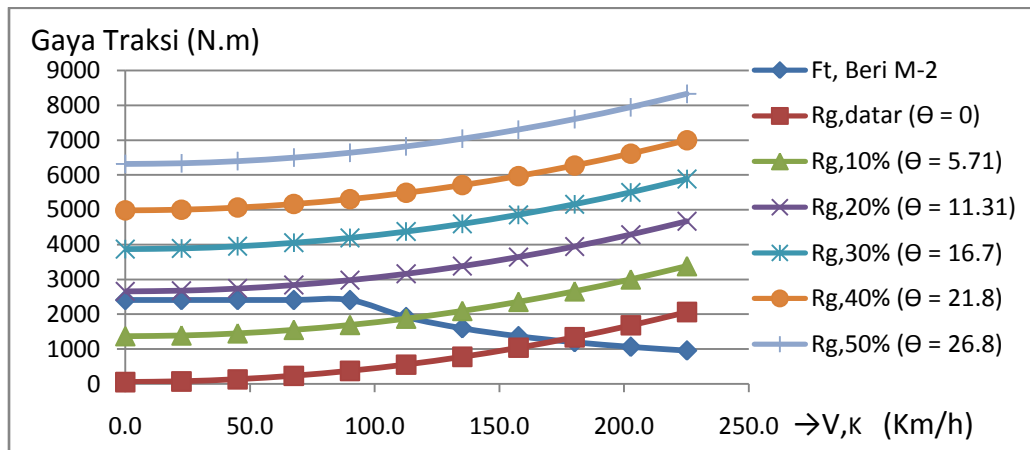
4.3.4. Analisa Moda Motor-2

Motor 2 mendayagunakan energi listrik dari *batrey* untuk menggerakkan kendaraan. konfigurasi *Power Splitting* pada moda ini adalah daya dari *motor 2* masuk ke *Carrier* kemudian diteruskan ke gardan. pada bagian *Ring* dikondisikan bebas berputar, sedangkan pada bagian *Sun* dikondisikan diam/. Moda ini berlaku dimana kendaraan melaju pada daerah tanpa emisi, rendah kebisingan dan dengan kebutuhan traksi menengah dalam kecepatan tinggi. Diagram aliran daya Moda Motor-2 ditunjukkan pada gambar 37.



Gambar 37. Diagram aliran daya Moda Motor-2.

Dengan menggunakan Spesifikasi motor-2 kedalam analisa traksi maka didapatkan grafik karakteristik traksi Moda Motor-2 seperti ditunjukkan pada gambar 38.



Gambar 38. Grafik Karakteristik Traksi Moda Motor-2

Penjelasan grafik Moda Motor-2:

Dari Grafik traksi Moda Motor-2 menunjukkan bahwa traksi (F_t , Beri M2) yang diberikan oleh motor-2 hanya mampu melewati hambatan tanjak sebesar (R_g) = 10% dengan (V_k)= 90 Km/jam. Sedangkan kecepatan maksimum pada moda ini adalah (V_k)_{mak} = 225 Km/h. Moda ini berlaku pada kecepatan kendaraan antara 0 - 225km/h

4.3.4.a. Parameter kontrol moda Motor-2

Untuk dapat melaksanakan moda operasi Moto-2 maka perangkat penggerak harus dioperasikan pada kondisi kerja yang dijelaskan pada tabel 14.

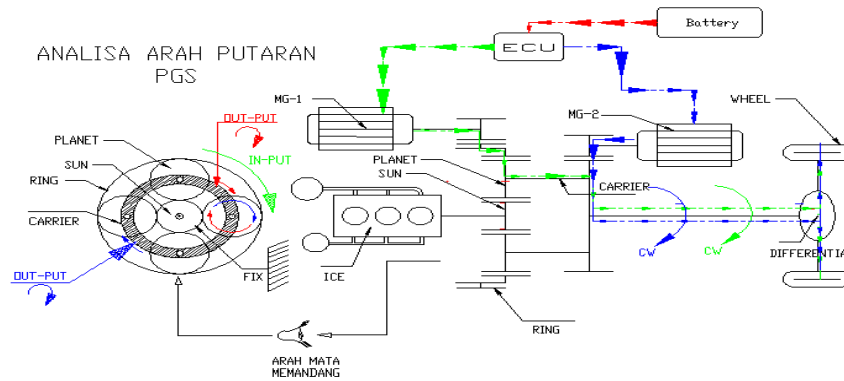
Tabel 14. Parameter kontrol Moda Motor-2

PARAMETER YANG DI SENSOR	PARAMETER YANG DI KONTROL			
V_k (Km/h)	MOTOR-2		ENGINE	
	Putaran (Rpm),	Arah Putaran	Putaran (Rpm),	Arah Putaran
0 - 225	0 - 10000	(CW)		

4.3.5. Analisa Moda Kombinasi Motor-1 dan Motor-2

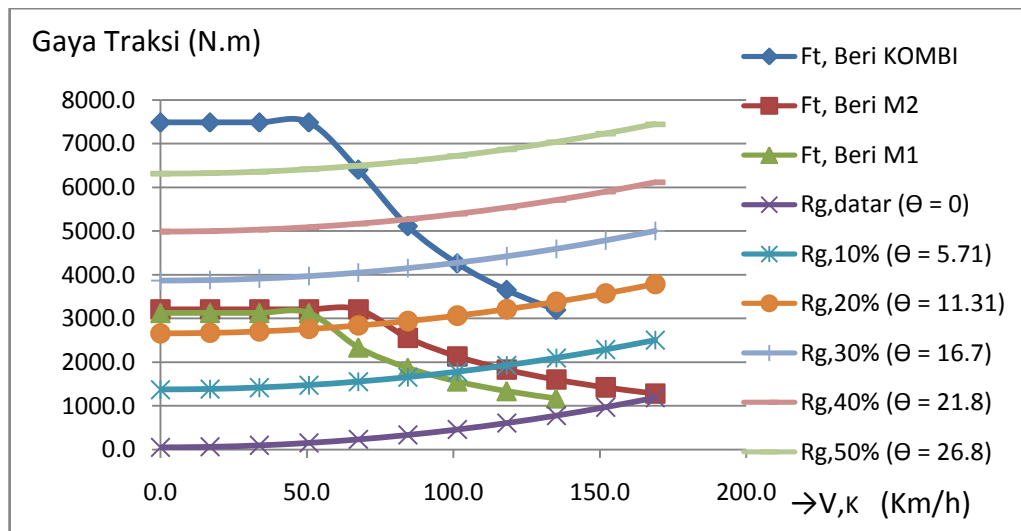
Motor-1 dan Motor-2 mendayagunakan daya dari *batrey* melalui *ECU* untuk menggerakkan kendaraan. konfigurasi *Power Splitting* pada moda ini adalah daya dari motor 1 masuk ke *Ring*, motor-2 masuk ke *Carrier*, keluaran pada *Carrier* menuju gardan, sedangkan pada bagian *Sun* dikondisikan diam/. Moda

ini berlaku pada kondisi tanpa emisi, rendah kebisingan dengan kebutuhan traksi tinggi dan kecepatan tinggi. Moda ini gabungan antara torsi motor-2 dengan motor-1 sehingga kemampuan tanjakan lebih tinggi dari pada moda motor-2. Diagram aliran daya Moda kombinasi Motor 1 dan 2 ditunjukkan pada gambar 39.



Gambar 39. Diagram Aliran Daya Moda Kombinasi Motor-1 dan Motor-2.

Dengan Menggunakan Spesifikasi Motor-1 dan Motor-2 ke dalam analisa traksi maka didapatkan grafik karakteristik traksi moda kombinasi seperti ditunjukkan pada gambar 40.



Gambar 40. Grafik Karakteristik Traksi Moda Kombinasi Motor-1 dan motor-2.

Penjelasan grafik Moda Kombinasi Motor-1 dan Motor-2.

Dari Grafik traksi Moda Kombinasi Motor-1 dan Motor-2. menunjukkan bahwa traksi ($F_{t, \text{Beri Kombinasi}}$) mampu melewati hambatan tanjak (R_g) sebesar

50% Dengan kecepatan (V_K)= 50 Km/jam. Sedangkan kecepatan maksimum yang dapat dicapai pada moda ini adalah $(V_K)_{\max} = 135$ km/h. Moda ini berlaku pada kecepatan kendaraan antara 0 - 135 km/h.

4.3.5.a. *Parameter kontrol moda kombinasi Motor-1 dan Motor-2*

Untuk dapat melaksanakan moda operasi Kombinasi maka perangkat penggerak harus dioperasikan pada kondisi kerja yang dijelaskan pada tabel 15.

Tabel 15. *Parameter kontrol Moda Kombinasi Motor-1 dan Motor-2*

PARAMETER YANG DI SENSOR	PARAMETER YANG DI KONTROL			
	MOTOR-1		MOTOR-2	
V_k (Km/h)	Putaran (Rpm),	Arah Putaran	Putaran (Rpm),	Arah Putaran
0 - 168	0 - 10000	(CW)	0 - 10000	(CW)

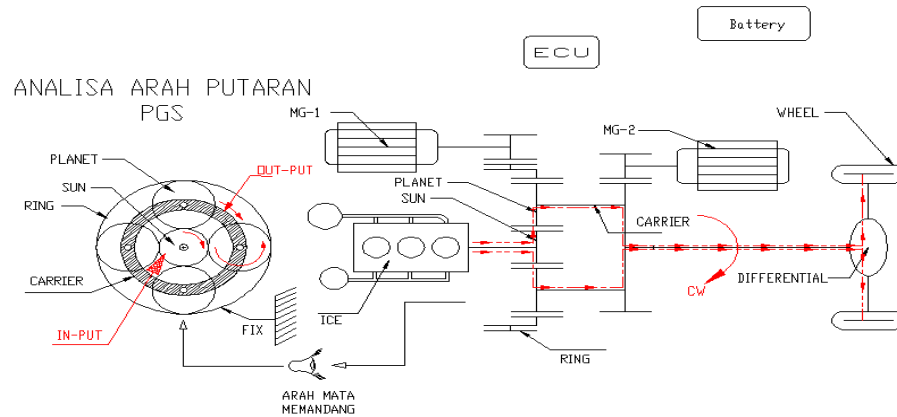
4.3.6. *Analisa Moda Engine*

Pada moda ini *Engine* menyalurkan seluruh dayanya untuk menggerakkan kendaraan. konfigurasi *Power Splitting* pada moda ini adalah daya dari *Enginemasuk* ke *Sun*, keluarannya pada *Carrier* menuju ke gardan, sedangkan pada bagian *Ring* dikondisikan diam/. Moda ini berlaku pada kondisi dimana kendaraan sudah melaju pada kecepatan tertentu dengan kebutuhan daya menengah. Moda *Engine* berlaku jika berada pada jalur lintasan yang mengizinkan emisi gas buang. Diagram aliran daya Moda *Engine* ditunjukkan pada gambar 41. Dengan Menggunakan Spesifikasi *Engine* ke dalam analisa traksi maka didapatkan grafik karakteristik traksi moda kombinasi seperti ditunjukkan pada gambar 42.

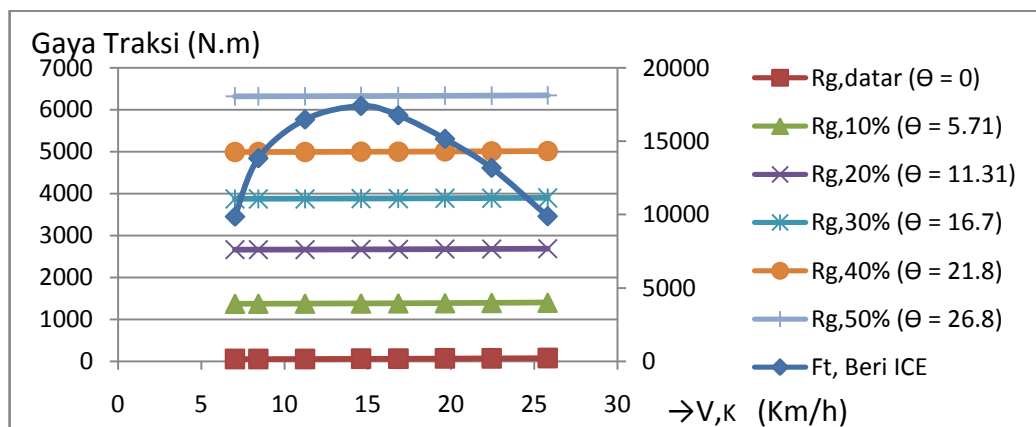
Penjelasan grafik Traksi Moda *Engine*:

Dari Grafik traksi Moda *Engine*. menunjukkan bahwa traksi (F_t , $Beri$, *Engine*) mampu melewati hambatan tanjak (R_g) sebesar 40% Dengan kecepatan (V_K)= 19.6 Km/jam. Sedangkan kecepatan maksimum yang dapat dicapai pada

moda ini adalah $(V_K)_{\max} = 25 \text{ km/h}$. Moda ini berlaku pada kecepatan kendaraan antara 7 - 25km/h.



Gambar 41.Diagram aliran daya Moda *Engine*.



Gambar 42.Grafik Karakteristik Traksi Moda *Engine*.

4.3.6.a.Parameter kontrol modaEngine

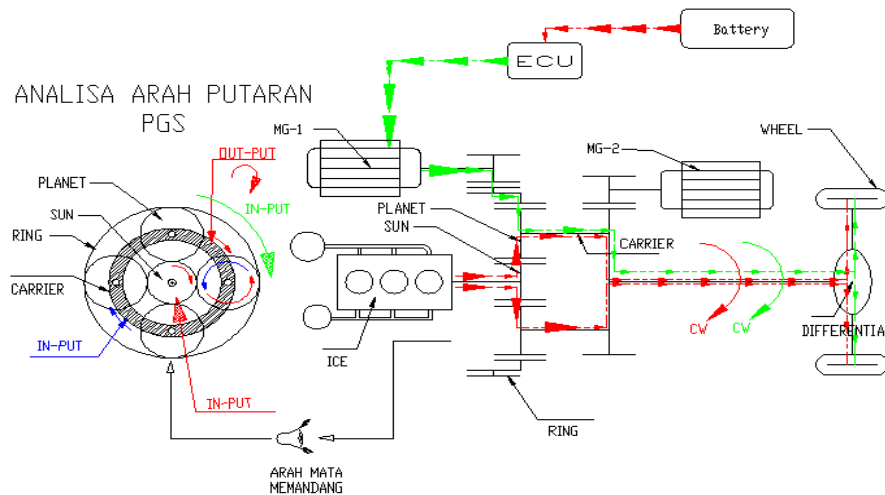
Untuk dapat melaksanakan moda operasi *Engine* maka perangkat penggerak harus dioperasikan pada kondisi kerja yang dijelaskan pada tabel 16.

Tabel 16. *Parameter kontrol Moda Engine*

PARAMETER YANG DI SENSOR	PARAMETER YANG DI KONTROL			
	MOTOR-1		ENGINE	
	Putaran (Rpm),	Arah Putaran	Putaran (Rpm),	Arah Putaran
V_k (Km/h)				
7 - 25			1250 - 4600	(CW)

4.3.7. Analisa Moda ECVT

Engine sebagai penggerak utama dan Motor 1 digunakan untuk memberikan kontra Torsi untuk memberikan variasi kecepatan *Output*. Konfigurasi *power splitting* pada moda ini adalah: Daya *Engine* masuk pada *Sun*, keluaran pada *Carrier*, sedangkan pada *Ring* tidak, namun diberikan kontra torsi untuk melawan torsi inersia *Ring*. Moda ECVT adalah moda percepatan dimana *Engine* sebagai penggerak utama sedangkan motor-1 digunakan untuk memberikan kontra torsi kepada *Ring gear* dalam PGS. Diagram aliran daya Moda ECVT ditunjukkan pada gambar 43.



Gambar 43. Diagram aliran daya Moda ECVT.

Dari konfigurasi moda ECVT diatas ditunjukkan bahwa : *Input-1* dari *Engine* masuk ke *Sun Gear*, *Input-2* dari Motor-1 masuk ke *Ring Gear*, sedangkan *Outputnya* keluar melalui *Carrier*. Dengan demikian berlaku persamaan ECVT sebagai berikut:

Persamaan putaran *Output* moda ECVT menggunakan Persamaan (1) dan (2):

$$\omega_C(N_S + N_R) = (N_S * \omega_S) + (N_R * \omega_R) \quad (1)$$

$$\omega_C = \frac{N_S}{N_S + N_R} * \omega_S + \frac{N_R}{N_S + N_R} * \omega_R \quad (2)$$

Keterangan rumus:

ω_C = Putaran *Output* transmisi/ putaran bodi *Carrier*

ω_S = Putaran *Input* dari *Engine* / Putaran yang masuk ke *Sun Gear*.

ω_R = Putaran *Input* dari Motor-1 / Putaran yang masuk ke *RingGear*.

N_S = Jumlah gigi *Sun Gear*.

N_R = Jumlah gigi *RingGear*.

Persamaan *TorsiOutput* moda ECVT menggunakan Persamaan (3) dan (4):

$$T_C = \frac{N_S + N_R}{N_S} * T_S + \frac{N_S + N_R}{N_R} * T_R \quad (3)$$

$$T_C = i_{S \rightarrow C} * T_S + i_{R \rightarrow C} * T_R \quad (4)$$

Keterangan rumus:

T_C = Torsi *Output* transmisi/ putaran bodi *Carrier*

T_S = Torsi *Input* dari *Engine* / Torsi yang masuk ke *Sun Gear*.

T_R = Torsi *Input* dari Motor-1 / Torsi yang masuk ke *RingGear*.

$i_{t,S \rightarrow C}$ = Rasio transmisi reduksi, *Input* dari *Sun gear* keluar melalui *Carrier*

$i_{t,R \rightarrow C}$ = Rasio transmisi reduksi, *Input* dari *Ringgear* keluar melalui *Carrier*

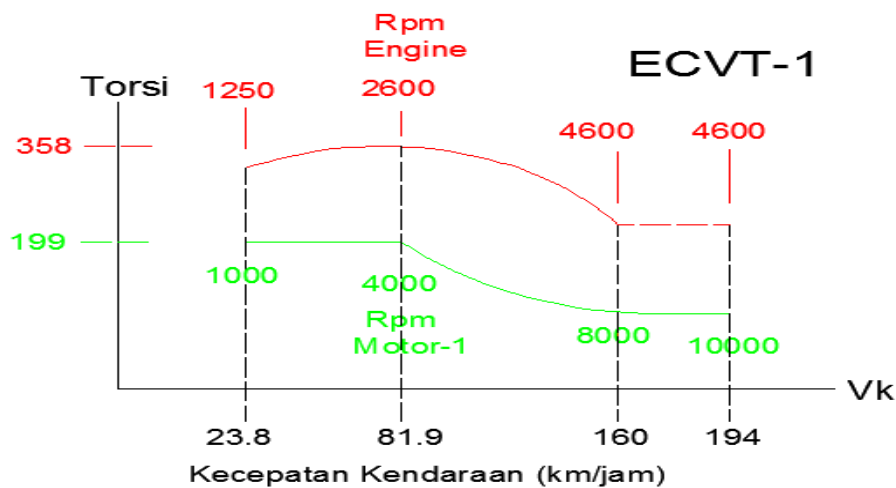
Dengan menggunakan spesifikasi Motor-1 dan Motor-2 serta *Engine* kedalam analisa traksi moda ECVT serta menerapkan persamaan kusus untuk moda ECVT maka akan didapatkan Grafik karakteristik Moda ECVT sebagai berikut:

4.3.7.1. Moda ECVT-1

Untuk memberikan gambaran kondisi kerja *Engine* dan Motor-1 pada Moda ECVT-1 ditunjukkan pada gambar 44.

Keterangan Grafik Kondisi kerja *Engine* dan Motor-1 pada Moda ECVT-1:

Engine mulai bekerja pada putaran 1250 rpm pada saat itu juga motor-1 bekerja pada putaran 1000 untuk melakukan proses Moda ECVT-1. Kecepatan maksimum kendaraan yang dapat dicapai dari Moda ini adalah $(V_k) = 194$ km/jam. untuk melihat hubungan traksi dan kecepatan kendaraan dapat dilihat pada grafik karakteristik traksi moda ECVT-1 yang ditunjukkan pada gambar 45 .



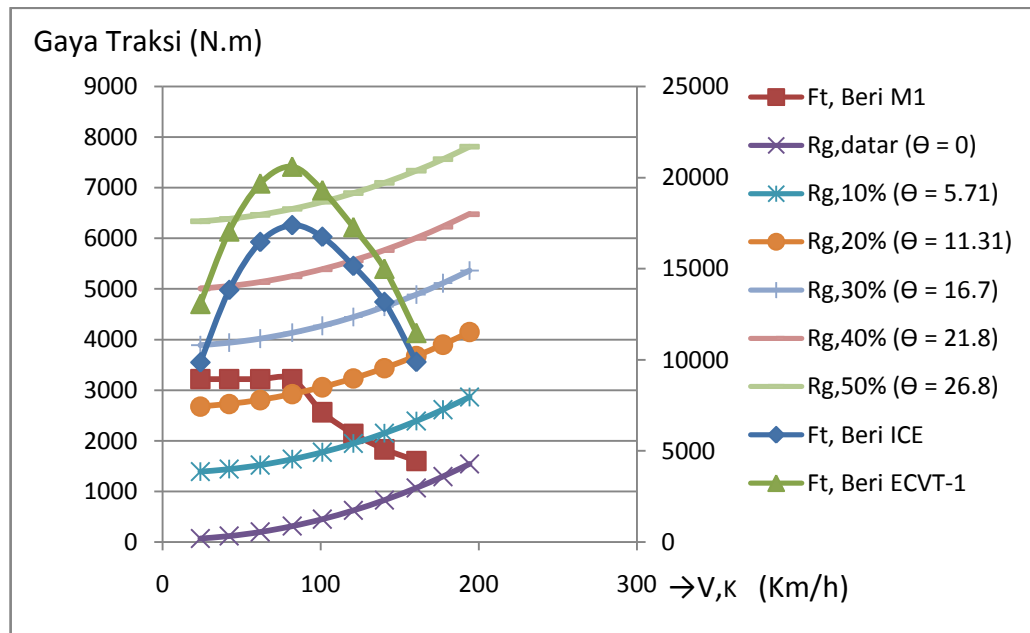
Gambar 44. Grafik Kondisi kerja *Engine* dan Motor-1 pada Moda ECVT-1.

Perubahan rasio ECVT-1 didapatkan dengan cara membandingkan kecepatan kendaraan (V_k) pada moda ECVT-1 dengan moda *Engine*. Perubahan rasio ECVT-1 disajikan pada tabel 17.

Tabel 17. Rasio ECVT-1

Putaran <i>Engine</i> pada <i>Sun</i>	Putaran Motor-1 pada <i>Ring</i>	V_k , ICE (Km/h)	V_k , ECVT-1 (Km/h)	Rasio ECVT-1 dipercepat sekian kali
1250	1000	7.01	23.84	3.40
1500	2000	8.41	42.06	5.00
2000	3000	11.22	61.69	5.50
2600	4000	14.58	81.88	5.62
3000	5000	16.83	100.95	6.00
3500	6000	19.63	120.58	6.14
4000	7000	22.43	140.21	6.25
4600	8000	25.80	160.40	6.35
4600	9000	25.80	177.23	6.48
4600	10000	25.80	194.06	7.52

Analisa traksi didasarkan atas grafik kondisi kerja ECVT-1 dan spesifikasi penggerak maka didapatkan grafik karakteristik traksi seperti ditunjukkan pada gambar 45.



Gambar 45.Grafik karakteristik traksi Moda ECVT-1

Penjelasan grafik TraksiModa ECVT-1:

Dari Grafik traksi Moda ECVT-1 menunjukkan bahwa traksi (F_t , Beri ECVT-1) mampu melewati hambatan tanjak (R_g) sebesar 50% Dengan kecepatan (V_k)= 100.9 Km/jam. Sedangkan kecepatan maksimum yang dapat dicapai pada moda ini adalah $(V_k)_{\max} = 160$ km/h. Moda ini berlaku pada kecepatan kendaraan antara 0 - 160km/h

4.3.7.1.a.Parameter kontrol moda ECVT-1

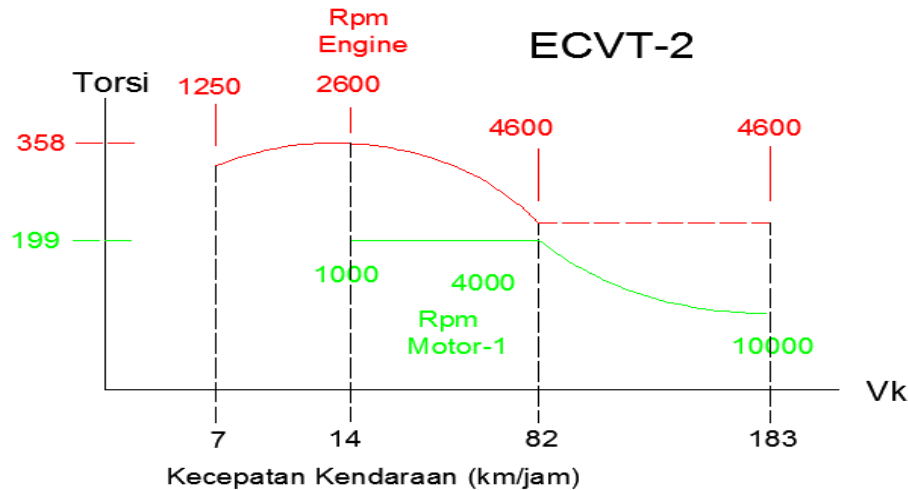
Untuk *Parameter* kontrol Moda ECVT-1 juga harus menggunakan grafik kondisi kerja moda ECVT-1 dan tabel rasio ECVT-1.dan Untuk dapat melaksanakan moda operasi ECVT-1 maka perangkat penggerak harus dioperasikan pada kondisi kerja yang dijelaskan pada tabel 18.

Tabel 18.*Parameter* kontrol Moda ECVT-1

PARAMETER YANG DI SENSOR	PARAMETER YANG DI KONTROL			
V_k (Km/h)	MOTOR-1		ENGINE	
	Putaran (Rpm),	Arah Putaran	Putaran (Rpm),	Arah Putaran
0 - 194	0 - 10000	(CW)	1250 - 4600	(CW)

4.3.7.2. Moda ECVT-2

Untuk menegambarkan kondisi kerja *Engine* dan Motor-1 pada Moda ECVT-2 ditunjukkan pada gambar 46.



Gambar 46. Grafik kondisi kerja *Engine* dan Motor-1 Pada Moda ECVT-2

Keterangan Grafik Kondisi kerja *Engine* dan Motor-1 pada Moda ECVT-2:

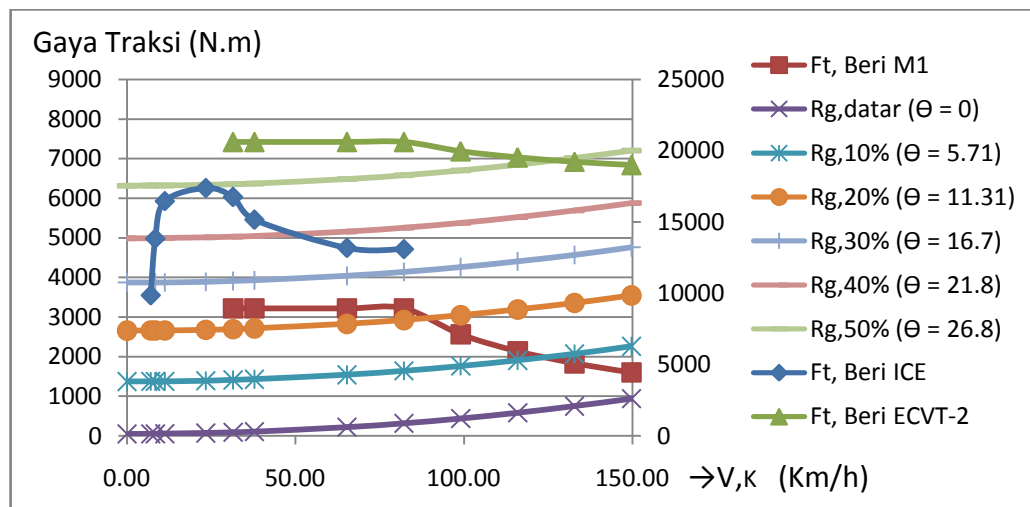
Engine mulai bekerja pada putaran 1250 rpm. ketika *Engine* mencapai putaran 2600 rpm pada saat itu motor-1 mulai bekerja pada hingga putaran 1000 untuk melakukan proses Moda ECVT-2. Kecepatan maksimum kendaraan yang dapat dicapai dari Moda ini adalah (V_k) = 183 km/jam. untuk melihat hubungan traksi dan kecepatan kendaraan dapat dilihat pada grafik karakteristik traksi moda ECVT-2 yang ditunjukkan pada gambar 47. Perubahan rasio akibat ECVT-2 didapatkan dengan cara membandingkan kecepatan kendaraan (V_k) pada moda ECVT-2 dengan moda *Engine*. Perubahan rasio ECVT-2 ditunjukkan pada tabel 19.

Tabel 19. Rasio ECVT-2

Putaran <i>Engine</i> pada <i>Sun</i>	Putaran Motor-1 pada <i>Ring</i>	V_k , ICE (km/h)	V_k , ECVT-2 (km/h)	Rasio ECVT-2 dipercepat sekian kali
2600	1000	16.83	31.52	1.87
3000	2000	19.63	37.80	1.93
3500	3000	22.43	65.29	2.91
4000	4000	25.80	82.17	3.19
4600	5000	25.80	99.06	3.84
4600	6000	25.80	115.94	4.49

4600	7000	25.80	132.83	5.15
4600	8000	25.80	149.71	5.80
4600	9000	25.80	166.60	6.46
4600	10000	25.80	183.48	7.11

Analisa traksi didasarkan atas grafik kondisi kerja ECVT-2 sehingga didapatkan grafik karakteristik traksi seperti di tunjukkan pada gambar 47.



Gambar 47. Grafik karakteristik traksi Moda ECVT-2

Penjelasan grafik Moda ECVT-2:

Dari Grafik traksi Moda ECVT-2 menunjukkan bahwa traksi (F_t , Beri ECVT-2) mampu melewati hambatan tanjak (R_g) sebesar 50% Dengan kecepatan (V_K)= 115 Km/jam. Sedangkan kecepatan maksimum yang dapat dicapai pada moda ini adalah $(V_K)_{\max} = 183$ km/h. Moda ini berlaku pada kecepatan kendaraan antara 31 - 183km/h.

4.3.7.2.a. Parameter kontrol moda ECVT-2

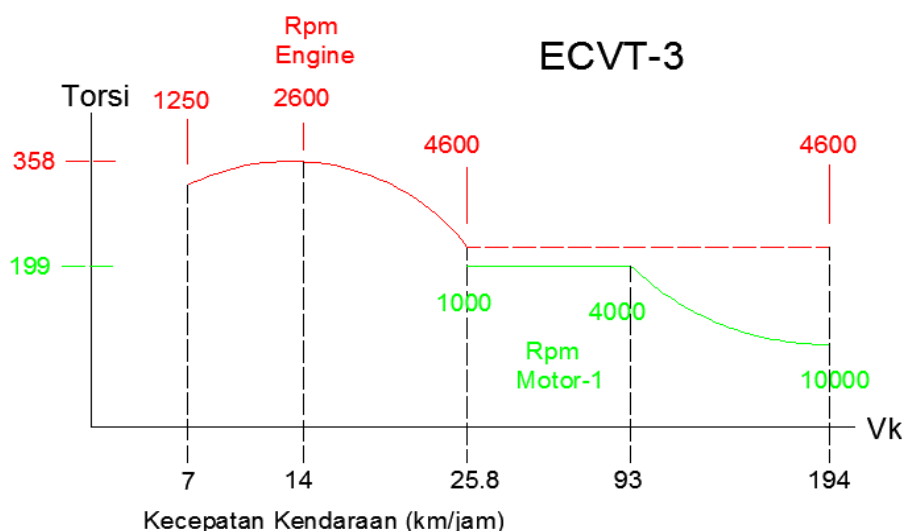
Untuk *Parameter* kontrol Moda ECVT-2 juga harus menggunakan grafik kondisi kerja moda ECVT-2 dan tabel rasio ECVT-2. dan Untuk dapat melaksanakan moda operasi ECVT-2 maka perangkat penggerak harus dioperasikan pada kondisi kerja yang dijelaskan pada tabel20.

Tabel 20.Parameter kontrol Moda ECVT-2

PARAMETER YANG DI SENSOR	PARAMETER YANG DI KONTROL			
	MOTOR-1		ENGINE	
	Putaran (Rpm),	Arah Putaran	Putaran (Rpm),	Arah Putaran
V_k (Km/h)				
31.5 - 183	0 - 10000	(CW)	2600 - 4600	(CW)

4.3.7.3. Moda ECVT-3

Untuk memberikan gambaran kondisi kerja *Engine* dan Motor-1 pada Moda ECVT-3 ditunjukkan pada gambar 48.



Gambar 48.Grafik kondisi kerja *Engine* dan Motor-1 Pada Moda ECVT-3

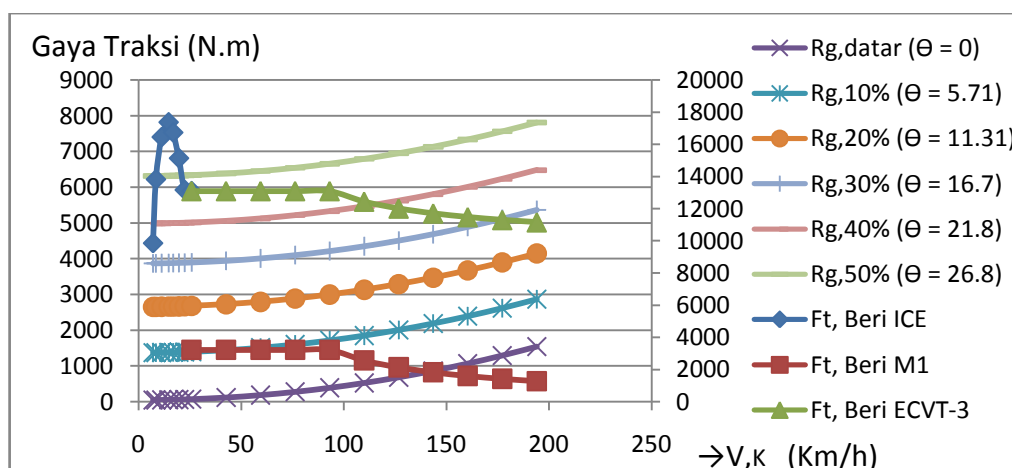
Keterangan Grafik Kondisi kerja *Engine* dan Motor-1 pada Moda ECVT-2:

Engine mulai bekerja pada putaran 1250 rpm. ketika *Engine* mencapai putaran 4600 rpm pada saat itu motor-1 mulai bekerja hingga pada putaran 1000 untuk melakukan proses Moda ECVT-3. Kecepatan maksimum kendaraan yang dapat dicapai dari Moda ini adalah (V_k) = 194 km/jam. untuk melihat hubungan traksi dan kecepatan kendaraan dapat dilihat pada grafik karakteristik traksi moda ECVT-3 yang ditunjukkan pada gambar 49. Perubahan rasio akibat ECVT-3 didapatkan dengan cara membandingkan kecepatan kendaraan (V_k) pada moda ECVT-3 dengan moda *Engine*. Perubahan rasio akibat ECVT-3 ditunjukkan pada tabel 21.

Tabel 21.Rasio ECVT-3

Putaran <i>Engine</i> pada <i>Sun</i>	Putaran Motor- 1 pada <i>Ring</i>	V _k ,ICE (km/jam)	V _k ,ECVT-3 (km/jam)	Rasio ECVT-3 dipercepat sekian kali
4600	1000	25.80	42.63	1.65
4600	2000	25.80	59.45	2.30
4600	3000	25.80	76.28	2.96
4600	4000	25.80	93.10	3.61
4600	5000	25.80	109.93	4.26
4600	6000	25.80	126.75	4.91
4600	7000	25.80	143.58	5.57
4600	8000	25.80	160.40	6.22
4600	9000	25.80	177.23	6.87
4600	10000	25.80	194.06	7.52

Analisa traksi ECVT-3 didasarkan atas grafik kondisi kerja ECVT-3 sehingga didapatkan grafik karakteristik traksi seperti ditunjukkan pada gambar 50.



Gambar 49.Grafik karakteristik traksi Moda ECVT-3

Penjelasan grafik Moda ECVT-3:

Dari Grafik traksi Moda ECVT-3 menunjukkan bahwa traksi ($F_{t, \text{Beri ECVT-3}}$) mampu melewati hambatan tanjak (R_g) sebesar 40% Dengan kecepatan (V_k)= 110 Km/jam. Sedangkan kecepatan maksimum yang dapat dicapai pada moda ini adalah $(V_k)_{\text{max}} = 194$ km/h. Moda ini berlaku pada kecepatan kendaraan antara 42 - 194 km/h.

4.3.7.3.a.Parameter kontrol moda ECVT-3

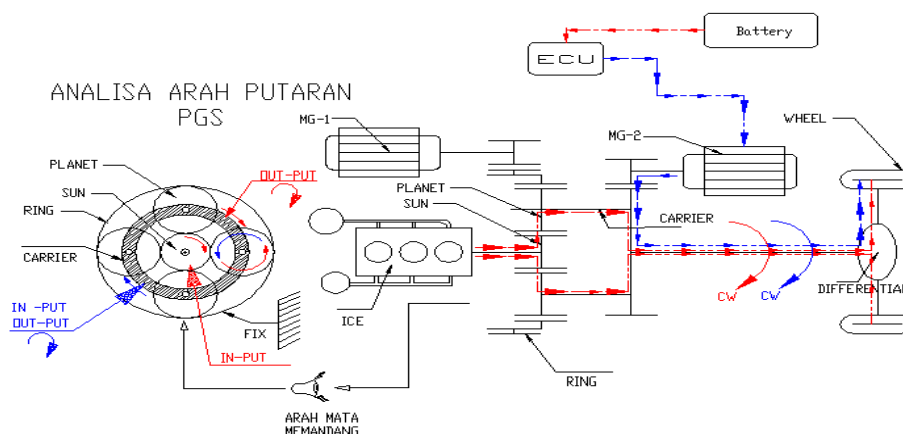
Untuk *Parameter* kontrol Moda ECVT-3 juga harus menggunakan grafik kondisi kerja moda ECVT-3 dan tabel rasio ECVT-3.dan Untuk dapat melaksanakan moda operasi ECVT-3 maka perangkat penggerak harus dioperasikan pada kondisi kerja yang dijelaskan pada tabel 22.

Tabel22.*Parameter* kontrol Moda ECVT-3

PARAMETER YANG DI SENSOR	PARAMETER YANG DI KONTROL			
V_k (Km/h)	MOTOR-1		ENGINE	
	Putaran (Rpm),	Arah Putaran	Putaran (Rpm),	Arah Putaran
42.6 - 194	0 - 10000	(CW)	4600	(CW)

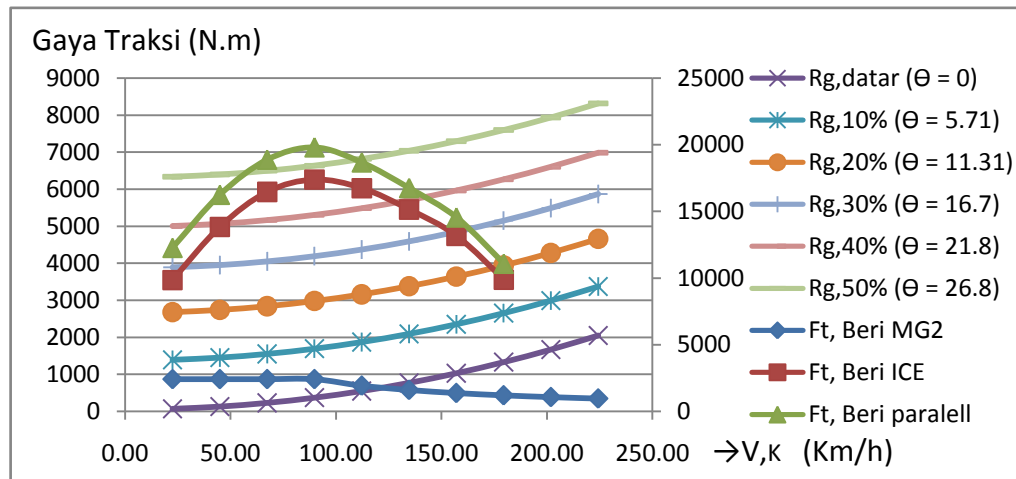
4.3.8.Analisa Moda *Parallel*

Daya *motor 2* digunakan untuk menggerakkan kendaraan, sampai pada kecepatan tertentu dan digabungkan dengan daya dari *Engine*. Konfigurasi *Power Splitting* pada moda ini adalah: Daya *motor 2* masuk pada *Sun*, keluaran pada *Carrier*, sedangkan pada *Ring* dibuat / Diam. Moda ini berlaku pada kondisi dimana kendaraan sudah melaju dan sedang membutuhkan tambahan torsi. Keunggulan moda ini adalah: kendaraan akan memiliki torsi yang berlipat yang didapatkan dari gabungan torsi antara ICE dengan MG2.Modal *Parallel* berlaku apabila kendaraan butuh gabungan daya dan torsi dari Motor-2 dengan *Engine*. Diagram aliran daya Moda *Parallel* ditunjukkan pada gambar 50.



Gambar 50.Diagram aliran dayaModa*parallel*.

Dari konfigurasi moda *parallel* diatas maka dalam analisa moda *Parallel* menggunakan persamaan (3) dan (4) untuk menggabungkan torsi *Output* pada moda *Parallel*. Dengan menerapkan persamaan penggabungan torsi diatas kedalam analisa traksi moda *parallel* maka didapatkan grafik karakteristik traksi moda *parallel* seperti ditunjukkan pada gambar 51.



Gambar 51. Grafik Karakteristik Traksi Moda *Parallel*.

Penjelasan grafik Moda *Parallel*:

Dari Grafik traksi Moda *Parallel* menunjukkan bahwa traksi (F_t , Beri *Parallel*) mampu melewati hambatan tanjak (R_g) sebesar 50% Dengan kecepatan (V_k)= 100 Km/jam. Sedangkan kecepatan maksimum yang dapat dicapai pada moda ini adalah $(V_k)_{\max} = 160$ km/h. Hambatan tanjak terkecil yang dapat dilalui dengan moda ini adalah (R_g) = 10% pada kecepatan (V_k)= 179 Km/jam. Moda ini berlaku pada antara kecepatan kendaraan 22 - 179 km/h.

4.3.8.a. Parameter kontrol moda *Parallel*.

Untuk dapat melaksanakan moda operasi *Parallel* maka perangkat penggerak harus dioperasikan pada kondisi kerja yang dijelaskan pada tabel 23.

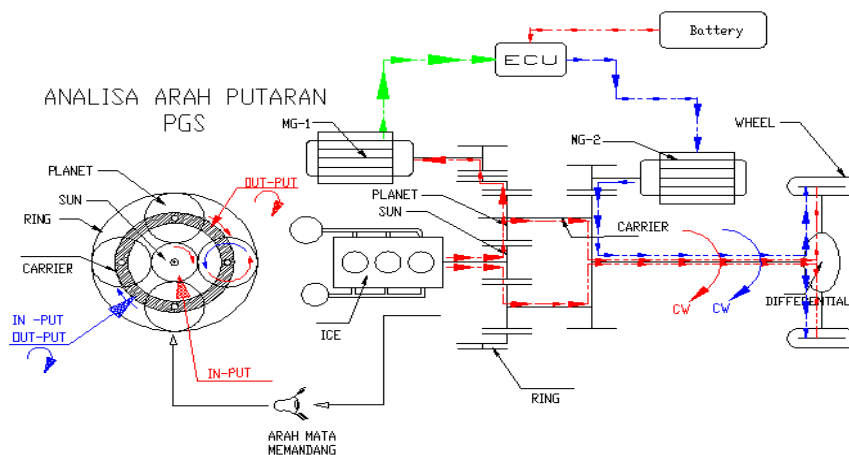
Tabel 23. Parameter kontrol Moda *Parallel*.

PARAMETER YANG DI SENSOR	PARAMETER YANG DI KONTROL			
V_k (Km/h)	MOTOR-1		ENGINE	
	Putaran (Rpm),	Arah	Putaran (Rpm),	Arah

		Putaran		Putaran
22 - 179	0 - 8000	(CW)	1250 - 4600	(CW)

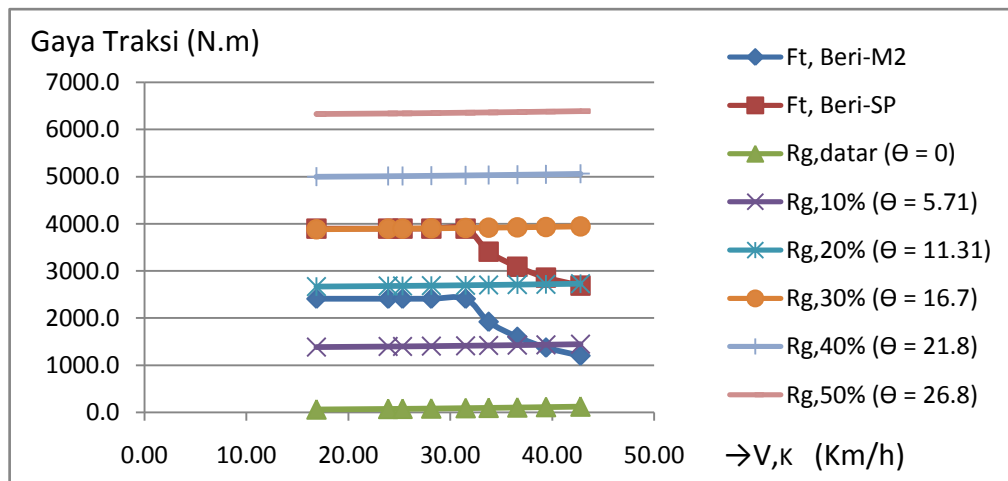
4.3.9. Analisa Moda *Seri-Parallel*

Motor-2 sebagai penggerak utama untuk menggerakkan kendaraan, sedangkan disisi lain engin diberikan fasilitas oleh *Power Spliting* untuk bekerja pada kondisi optimalnya. Sebagian daya dari engin digunakan untuk menggerakkan kendaraan dan sebatas untuk membantu *Motor-2*, selebihnya daya dari *Engine* diubah menjadi daya listrik yang mana daya listrik tersebut akan diberikan kepada *Motor-2* atau disimpan pada *batrey*. Konfigurasi *Power Spliting* dari moda ini adalah: Daya dari *Engine* masuk pada *Sun*, keluaran daya dibagi menjadi dua sebagian menuju ke *Ring* untuk diubah menjadi Listrik dan sebagian lagi menuju ke *Carrier* lalu ke gardan untuk menggerakkan kendaraan. Pada sisi lain, *Motor 2* juga memberikan dayanya untuk menggerakkan kendaraan melalui *Carrier* menuju ke gardan. keunggulan dari moda ini adalah untuk memberikan kesempatan pada *Engine* agar dapat bekerja pada kondisi optimalnya. Moda *Seri-Parallel* digunakan untuk memfasilitasi *Engine* agar dapat beroperasi pada kondisi optimalnya dengan tidak dipengaruhi oleh kecepatan kendaraan. Kelebihan moda *seri-Parallel* adalah pada *Engine* dimana angine tidak hanya bekerja sebagai penggerak kendaraan tetapi *Engine* juga digunakan untuk menjaga suplai daya listrik ke power kontrol dan pemasok daya pada motor-2. Diagram aliran daya Moda *seri-parallel* ditunjukkan pada gambar 52.



Gambar52.Diagram aliran dayaModaSeri-Parallel.

Dari konfigurasi moda *seri-Parallel* diatas menunjukkan bahwa : *Input* daya pertama dari *Engine* masuk ke *SunGear* kemudian *Output* dayanya bercabang segian kecil menuju *Carrier* dan sebagian besar menuju ke *Ringgear* untuk diubah menjadi energi listrik. *Input* daya kedua dari Motor-2 masuk ke *Carrier* dan *Output*nya juga dari *Carrier*. Ketika Motor-1 berfungsi sebagai *generator* maka arah putaran dari *generator*-1 (CCW) adalah berlawanan dengan arah putaran Motor-1 (CW) . Dengan menerapkan persamaan ECVT*Generator*-1 PGS kedalam analisa perhitungan moda *seriparallel* maka didapatkan grafik karakteristik traksi moda *seri-parallel* seperti ditunjukkan pada gambar 53.



Gambar 53.Grafik karakteristik Traksi Moda *Seri-Parallel*.

Penjelasan grafik Moda *Seri-Parallel*:

Dari Grafik traksi Moda Parallel menunjukkan bahwa traksi *seri-parallel* ($F_{t, \text{BeriSeri-Parallel}}$) mampu melewati hambatan tanjak maksimal (R_g) sebesar 30% Dengan kecepatan (V_K)= 30 Km/jam. Hambatan tanjak terkecil yang dapat dilalui dengan moda ini adalah (R_g) = 20% pada kecepatan maksimum (V_K)= 42 Km/jam. Moda *Seri- Parallel* berlaku pada kecepatan kendaraan antara 16 - 42 km/h.

4.9.a. Parameter kontrol moda *Seri-Parallel*

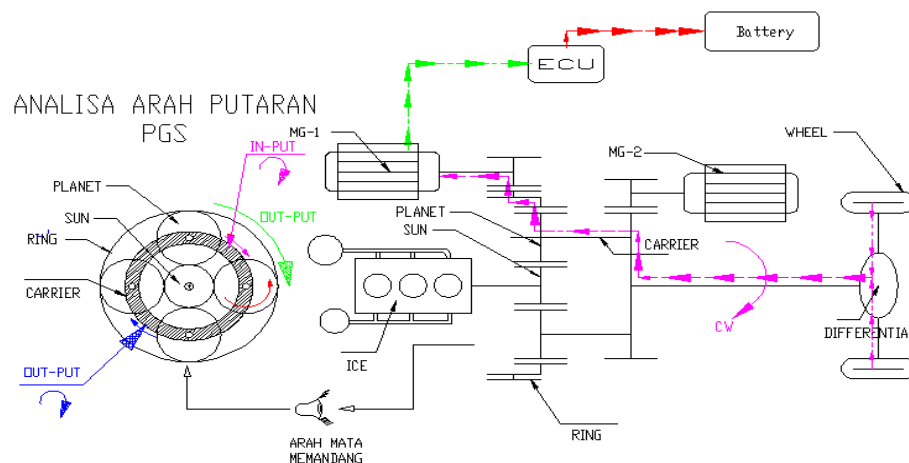
Untuk dapat melaksanakan moda operasi *seri-Parallel* maka perangkat penggerak harus dioperasikan pada kondisi kerja yang dijelaskan pada tabel 24.

Tabel 24. Parameter kontrol Moda *Seri-Parallel*.

PARAMETER YANG DI SENSOR		PARAMETER YANG DI KONTROL			
V_k (Km/h)	Daya <i>Batrey</i>	GENERATOR-1		ENGINE	
		Putaran (Rpm),	Arah Putaran	Putaran (Rpm),	Arah Putaran
16 - 42	50%	0 - 1000	(CCW)	1250 - 4600	(CW)

4.3.10. Analisa Moda Regeneratif *Braking*

Generator-1 menyerap energy kinetik dari kendaraan dan mengubahnya menjadi energi listrik. Konfigurasi *Power Splitting* dari moda ini adalah: Energi kinetik masuk ke *Carrier* dan secara langsung menuju ke *generator* kemudian diubah menjadi listrik kemudian disimpan di *batrey*. Moda ini berlaku dimana kondisi kendaraan melakukan pengurangan kecepatan baik saat pengereman atau posisi menurun sehabis tanjakan. Moda ini berlaku bilamana kendaraan melakukan pengereman secara temporer/ kadang kadang/ tidak menerus. Pada saat difungsikan sebagai *generator* maka *generator* ini akan menerima rasio percepatan yang tinggi yang didapatkan dari perkalian antara rasio gardan dikalikan dengan rasio transmisi *planetary* ($i_g * i_{C \rightarrow R}$) akibatnya akan didapatkan torsi pengereman yang cukup besar. Diagram aliran daya Moda *Regenerative Braking* ditunjukkan pada gambar 54.



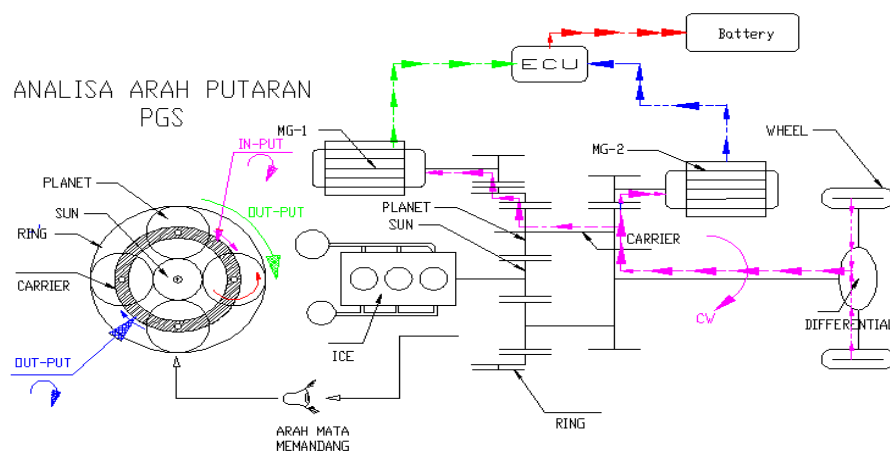
Gambar 54.Diagram aliran dayaModa *regenerativeBraking*dengan Motor 1 sebagai *generator*.

4.3.10.a.Parameterkondisi kerjamoda *RegenerativeBraking*

Untuk dapat melaksanakan moda *RegenerativeBraking* maka *batrey* harus berada pada kondisi daya kurang dari 100%.

4.3.11.Analisa Moda *RegenerativeBraking* gabungan.

Moda *regenerativ Braking*, *Generator*1 dan 2 digunakan secara bersamaan untuk menyerap energi kinetik dari kendaraan dan mengubahnya menjadi enrgi listrik kemudian disimpan pada *batrey*. Moda ini berlaku bilamana kendaraan melakukan pengereman secara menerus misalnya saat kendaraan berjalan menuruni perbukitan dengan sudut tanjakan diatas 30% dan dengan profil jalan yang berbelok.Keunggulan dari moda ini adalah dapat menyerap energi listrik yang sebesar besarnya dari kendaraan dan diharapkan dapat menggantikan atau setidaknya mengurangi penggunaan rem manual.Diagram aliran daya Moda *Regenerative Braking* gabungan ditunjukkan pada gambar 56.



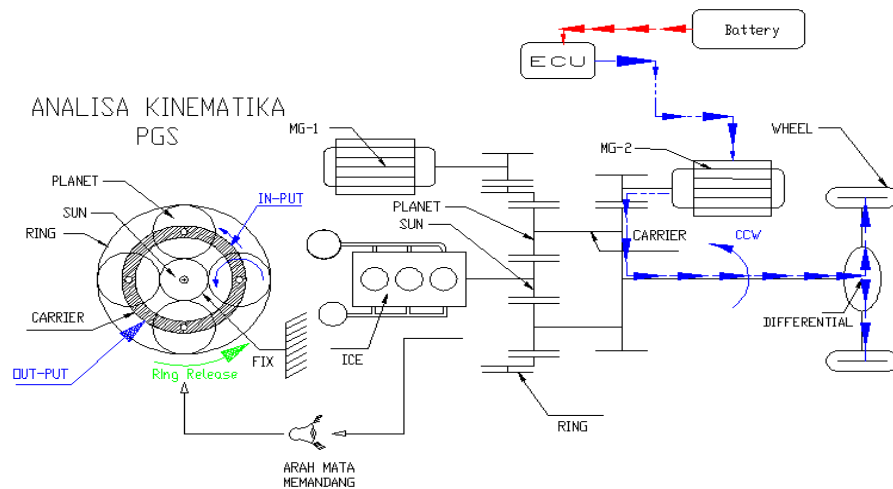
Gambar55.Diagram aliran dayaModa *regenerativebrake*gabungan.

4.3.11.a.Parameterkondisi kerjamoda *RegenerativeBraking* Gabungan.

Untuk dapat melaksanakan moda *RegenerativeBrakingGabungan* batrey harus berad pada kondisi daya kurang dari 100%.

4.3.12.Analisa Moda *Reversing Drive*

Moda *Reversing* digunakan bilamana kendaraan diinginkan berjalan mundur. Pada dasarnya Moda *Reversing Drive* adalah sama dengan moda Motor-2 namun hanya arah putaran Motor-2 yang berlawanan. secara karakteristik traksi moda *Reversing* adalah sama dengan Moda Motor-2.Diagram aliran daya Moda *Reversing Drive* ditunjukkan pada gambar 57.



Gambar 56.Diagram aliran dayaModa *ReversingDrive* dengan penggerak Motor-2.

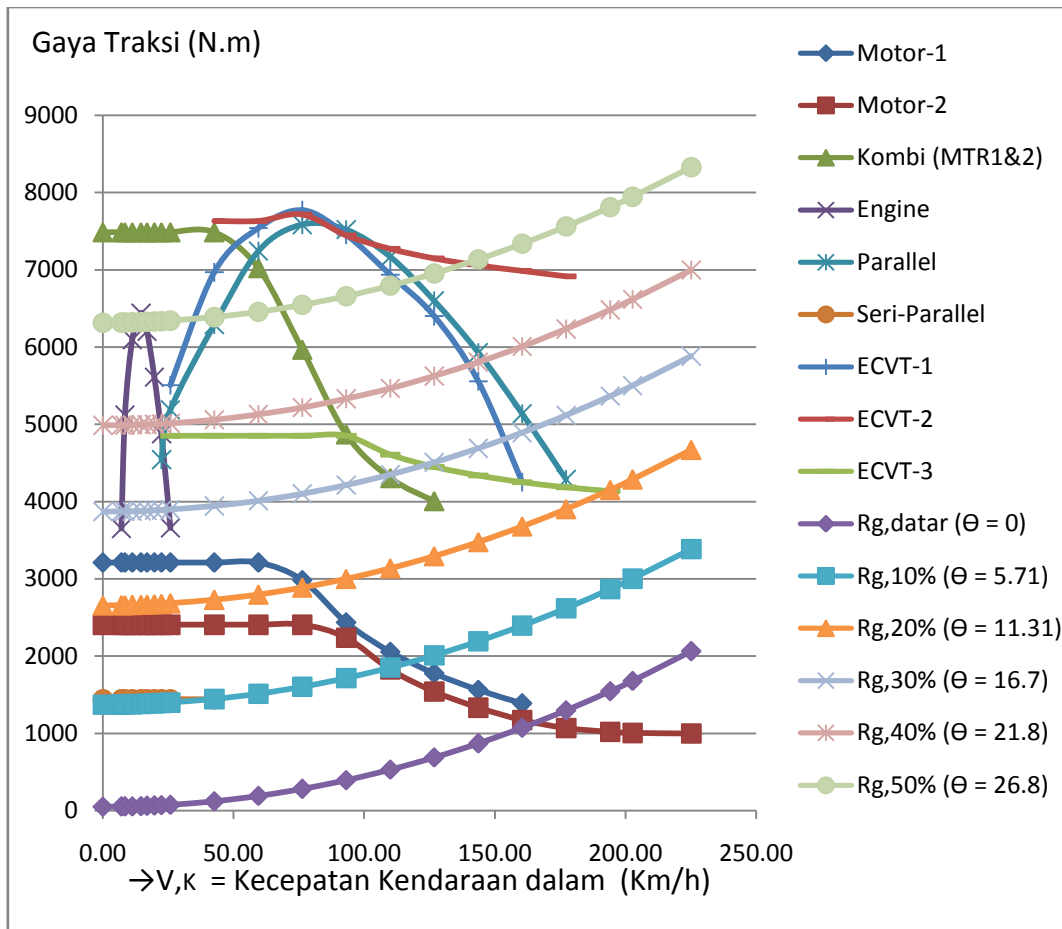
4.3.12.a.Parameter kontrol moda *ReversingDrive*.

Untuk dapat melaksanakan moda operasi *ReversingDrive*maka perangkat penggerak harus dioperasikan pada kondisi kerja yang dijelaskan pada tabel 27.

Table 25. Parameter kontrol Moda *Reversing Drive*.

PARAMETER YANG DI SENSOR	PARAMETER YANG DI KONTROL			
	MOTOR-2		ENGINE	
	Putaran (Rpm),	Arah Putaran	Putaran (Rpm),	Arah Putaran
V_k (Km/h)				
0 - 225	0 - 10000	(CCW)		

4.4. Analisa Gabungan Moda Operasi Traksi.



Gambar57. Grafik Traksi gabungan dari semua Moda operasi.

Dari grafik traksi gabungan dapat dianalisa bahwa moda operasi yang menggunakan penggerak *Engine*, memiliki traksi yang jauh lebih tinggi dari pada moda operasi yang menggunakan penggerak motor. hal ini disebabkan karna rasio reduksi PGS untuk *Inputan Engine* adalah terlalu tinggi yaitu sebesar 4 reduksi. Rasio reduksi untuk *inputan Engine* sebesar 4 hal ini terjadi karna inginkan pada moda *Engine*, kendaran dapat melaju dengan kecepatan mendekati nol pada putaran kerja *Engine* (1250 rpm). apabila rasio reduksi PGS untuk *Inputan Engine* diperkecil, maka akibatnya dikawatirkan *Engine* tidak dapat mulai bekerja pada putaran kerja minimalnya karna konversi traksi yang diberikan *Engine* belum cukup untuk melawan traksi yang dibutuhkan kendaraan saat mulai berjalan. adapun moda operasi yang menggunakan *Engine* sebagai penggerak adalah moda *Engine*, *Parallel*, *ECVT-1*, *ECVT-2*, *ECVT-3*.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

➤ Kesimpulan.

Dari hasil penelitian mulai dari awal hingga akhir, telah menuju pada suatu kesimpulan bahwa : kombinasi antara *Planetary gear* dengan beberapa kopling dapat digunakan untuk memfasilitasi *Engine* dan motor agar dapat bekerja pada kondisi optimalnya. lebih dari itu bahkan dapat menghasilkan berbagai moda operasi yang dapat memberikan kemampuan tambahan pada transmisi hibrid yang sudah ada. Terlebih lagi pada penelitian ini adalah mengkaji bagaimana caranya dapat menghasilkan desain transmisi yang menggabungkan konstruksi dua buah motor dan satu *Engine* kedalam satu mode transmisi yang kompak.

➤ Saran.

Harus dirancang sistem kontrol yang dapat menjamin terlaksananya semua moda operasi dalam transmisi ini.

Dirancang motor BLDC dengan memiliki kemampuan sebagai *Generator*, dengan daya listrik yang dihasilkan saat menjadi *generator* adalah sama atau mendekati dengan daya yang dibutuhkan saat menjadi Motor.

(Halaman ini Sengaja di kosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] X. Zhang, C. T. Li, D. Kum, and H. Peng, "Prius + and volt -: Configuration analysis of power-splitt hybrid vehicles with a single *planetary gear*," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 61, no. 8, pp. 3544–3552, 2012.
- [2] A. Szumanowski, "Equipped with Clutch-brake Systems," pp. 1–6, 2014.
- [3] A. Szumanowski "Analise of Clutch-Brake system control based on experimental test and Applied in Hybrid Power Train" pp. 1–11, 2013.
- [4] H. T. Ngo and H. Sen Yan, "Configuration synthesis of *parallel* hybrid transmissions," *Mech. Mach. Theory*, vol. 97, pp. 51–71, 2016.
- [5] X. Zhang, H. Peng, and J. Sun, "A near-optimal power management strategy for rapid component sizing of multimodapower *splitt* hybrid vehicles," *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, vol. 23, no. 2, pp. 609–618, 2015.
- [6] A. Du and H. Cai, "An analytic foundation for the Two-moda hybrid transmission with a comparison to other hybrid vehicle *power splitt* transmissions," *Proc. 2011 Int. Conf. Transp. Mech. Electr. Eng. TMEE 2011*, pp. 803–808, 2011.
- [7] X. Wu, S. Han, H. Sun, and G. Han, "Efficiency analysis of *planetary* coupling drive system with dual motors on electric bus," *2015 IEEE Int. Conf. Mechatronics Autom. ICMA 2015*, pp. 2547–2552, 2015.
- [8] W. Zhuang, X. Zhang, H. Peng, and L. Wang, "Rapid Configuration Design of Multiple-Planetary-Gear Power-Splitt Hybrid Powertrain via Moda Combination," *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, vol. 21, no. 6, pp. 2924–2934, 2016.
- [9] P. Walker, B. Zhu, and N. Zhang, "Powertrain dynamics and control of a two speed dual clutch transmission for electric vehicles," *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 85, pp. 1–15, 2017.
- [10] L. Chen, F. Zhu, M. Zhang, and Y. Huo, "Design and Analysis of an Electrical Variable Transmission for a *Series – Parallel* Hybrid Electric Vehicle," vol. 60, no. 5, pp. 2354–2363, 2011.
- [11] Shigley's *Mechanical Engineering Design*__Mcgraw_Hill_Series_in_Mechanical_Engineering_9th Ed_2011
- [12] D. R. Tobergte and S. Curtis, *Modern electric, hybrid electric and fuel cell vehicles: fundamental, theory and design. second edition*, vol. 53, no. 9. 2013.
- [13] C. Mi, A. Masrur M and D. Wendzong Gao, *Hybrid Electric Vehicles, Principles and Applications, with Practical Perspectives: fundamental, theory and design. second edition*, TL221.15.M545. 2011

LAMPIRAN

BIOGRAFI PENULIS

Penulis memiliki nama lengkap Muchammad Jamil, lahir pada tanggal 06 Januari 1985 di Jombang . Anak pertama dari empat bersaudara dari pasangan



Bapak Muchtarom, S. Ag. dan Ibu Ainun Chasanah. Penulis menempuh pendidikan formal di MI Nurul Huda, MTS Al Ihsan, , SMK 10 Nopember, D3 Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS), S1 Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) , melanjutkan jenjang Magister di Institut Teknologi Sepuluh November Jurusan Teknik Mesin Bidang Studi Desain Sistem Mekanikal (DSM).

Penulis sangat tertarik dengan bidang ilmu teknik permesinan mulai dari perancangan mekanisme, perwujudan desain dengan gambar 2D dan 3D, hingga Proses manufaktur. Selain itu penulis juga tertarik di bidang ilmu elektronika dan sistem control. Penulis sangat antusias dalam melakukan penerapan bidang ilmunya pada teknologi tepat guna yang dibutuhkan masyarakat sekitar.